

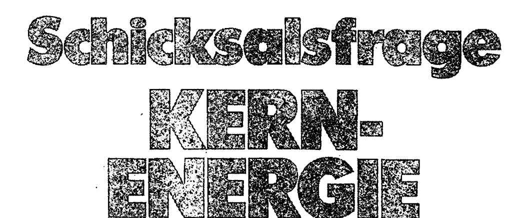

Karl Winnacker

# Schicksalsfrage KERNENERGIE

## Stationen der deutschen Atompolitik Radioaktivität und Sicherheit

Goldmann Sachbuch

Karl Winnacker




Stationen der deutschen
Atompolitik
Radioaktivität und Sicherheit


Wilhelm Goldmann Verlag

Made in Germany · 1/80 · 1. Auflage · 116
Genehmigte Taschenbuchausgabe

Umschlagentwurf: Atelier Adolf & Angelika Bachmann, München
Gesamtherstellung: Mohndruck Graphische Betriebe GmbH, Gütersloh
Verlagsnummer: 11268
Lektorat: Renate Richter · Herstellung: Lothar Hofmann
ISBN 3-442-11268-0

# Inhaltsverzeichnis

# VORWORT

Die Diskussionen um die Kernenergie haben ein verwirrendes Ausmaß angenommen. Es gibt Volksabstimmungen in einigen Bundesstaaten der USA, Massendemonstrationen und Appelle an hohe Gerichtshöfe in der Bundesrepublik Deutschland. Es gibt UNO-Entscheidungen sowie Geheimgespräche über den heißen Draht und bilaterale Absprachen zwischen Staaten unterschiedlichster Gesellschaftsordnung.

Die Kernenergie ist zum Mittelpunkt weltpolitischer Entscheidungen ebenso wie zum Gegenstand internationaler Diskussionen über Rohstoff- und Energieversorgung geworden. Die Kernenergie wird zu einem Zankapfel zwischen den Rohstoffländern und den Industrienationen, zwischen arm und reich, sie führt zu Konfrontationen zwischen Supermächten und atomwaffenlosen Staaten.

So ergibt sich vielerorts tatsächlich die Fragestellung, ob nun die Entdeckung der Kernspaltung und die daraus abgeleitete Möglichkeit der Energiefreisetzung an sich gut oder böse ist, und ob sie bei ihrem Einsatz in Krieg und Frieden so verheerende Konsequenzen mit sich bringen könnte, daß sie geächtet werden muß.

Solche Situationen haben sich in der Geschichte der Naturwissenschaft und Technik, aber auch im Bereich der Geisteswissenschaften, immer dann ergeben, wenn die Entdeckungen besondere Tragweiten hatten.

Beispiele sind die Entdeckungen von Kopernikus, Kepler und Galilei wie auch die Erfindung des Dynamits durch Alfred Nobel.

Im Falle der Kernenergie waren die Konsequenzen so ungeheuerlich, daß sich sehr schnell moralische Bedenken einstellten. Das galt für die Amerikaner schon kurz nach dem Abwurf der beiden ersten Atombomben, die sie zunächst mit so großem Aufwand geschaffen hatten und dann einsetzten, als der Krieg schon beinahe zu Ende war.

Das galt auch für Otto Hahn, der bis zu seinem Lebensende unglücklich darüber war, daß er mit seinem Experiment eine so folgenschwere Entwicklung ausgelöst hatte, obwohl er viele Jahre lang von der Atombombenherstellung gar nichts wußte.

Solche moralischen Bedenken mögen auch den amerikanischen Präsidenten Eisenhower bewegt haben, als er auf der Höhe des kalten Krieges im Jahre 1953 seine Abrüstungsideen mit dem Vorschlag verband, große Teile der Atomgeheimnisse freizugeben und damit die Initiative »atoms for peace« auslöste.

Die Abrüstungsverhandlungen haben bis heute kaum Fortschritte gemacht. Aber die friedliche Nutzung der Kernenergie hat zu einer weltumspannenden, völkerverbindenden Gemeinsamkeit geführt. Seitdem ist eine friedliche Beobachtung aller radioaktiven Belastungen in der Welt sowie auch eine Feststellung aller Atomexplosionen möglich, was dann wenigstens zur Ächtung der oberirdischen Atomexplosionen führte. So hat die friedliche Nutzung der Kernenergie vielleicht mehr für die Entspannung in der Welt getan als alle internationalen Verhandlungen.

Sie kann beitragen zur Beseitigung gefährlicher Spannungen, die sich aus der unterschiedlichen Verteilung des Wohlstands in der Welt ergeben. Dabei leistet sie mehr als das waffenstarrende Machtpotential der Atommächte.

Seit der Veröffentlichung des Buches »Das unverstandene Wunder« – das der Verfasser gemeinsam mit Karl Wirtz 1975 geschrieben hat – ist das damals und hier behandelte Problem in der Tat vom »unverstandenen Wunder« zur »Schicksalsfrage Kernenergie« und damit zu einem neuen Buch mit neuen Gesichtspunkten geworden. Dabei ist es selbstverständlich, daß Fakten und Überlegungen aus dem ersten Werk in diesem Fragenkomplex wiederholt werden

mußten, weil es sich um Tatsachen handelt. Eine Entdeckung ist niemals an sich gut oder böse. Wenn sie wahr und richtig ist, dann ist sie immer wertfrei. Gut oder böse ist nur, was die Menschen daraus machen.

Aus dem Wirrwarr der Meinungen über die Kernenergie ergeben sich letzten Endes einige wenige Fragestellungen, welche die Menschen beantworten müssen:

> Benötigen wir die Kernenergie, um kurz- oder langfristig den drohenden Energienotstand in der Welt zu überwinden?
>
> Beherrschen wir die Kerntechnik so, daß wir die Kernenergiegewinnung ohne Gefährdung der Menschen mit ausreichender Sicherheit ausbauen können?

Und schließlich stellen sich die Fragen:

> Sollen wir aus Sorge um die Verbreitung der Kernwaffen die friedliche Nutzung verzögern oder einengen?
>
> Oder könnten wir angesichts der Tatsache, daß die atomare Abrüstung in der Welt so wenig Fortschritte macht, dem Frieden und der Entspannung nicht dadurch besser dienen, daß wir die friedliche Nutzung allen Völkern zugänglich machen, die diese zur Hebung ihres Lebensstandards so nötig brauchen?

All dies erfordert Antworten und Entscheidungen, die ehrlich und nüchtern überlegt werden müssen.

Karl Wirtz, Professor an der Universität Karlsruhe und Mitherausgeber an dem gemeinsamen Werk »Das unverstandene Wunder – Kernenergie in Deutschland«, sowie Ernst Bäumler und Dr. Klaus Trouet aus Hoechst haben in Unterhaltungen und Beiträgen mitgeholfen, die vielfältigen Gesichtspunkte im Verhältnis zueinander abzuwägen.

Dr. Lothar Schäfer und Herbert Spahn haben zur Beschaffung von Unterlagen und ihrer sachverständigen Beurteilung beigetragen. Dem Verleger, Erwin Barth von Wehrenalp, ist der Verfasser für wertvolle Anregungen dankbar.

Karl Winnacker

# Kapitel 1
# DER ENERGIENOTSTAND IN UNSERER WELT

Das Ölembargo der arabischen OPEC-Staaten während des Nahost-Krieges im Oktober 1973 hat in den westlichen Industrieländern eine Entwicklung ausgelöst, die über die militärische und politische Dimension des Konfliktes selbst weit hinausreicht. Damals ist der westlichen Welt die ganze Problematik der Verfügbarkeit des Erdöls bewußt geworden. Sein Preis wurde kurzfristig um ein Mehrfaches erhöht. Er stieg beispielsweise bei leichtem arabischem Erdöl aus dem Persischen Golf von Anfang Oktober 1973 von 3,01 US-Dollar pro Barrel innerhalb von 3 Monaten auf 11,65 US-Dollar. Nicht weniger schreckte die Erkenntnis, daß sich etwas Derartiges jederzeit wiederholen kann und dann die gesamte auf Erdöl basierende Industrie katastrophal gelähmt würde.

Am Rande der Aktualität dieses erschreckenden Zwischenfalls machten die Ereignisse wieder einmal deutlich, daß die Erdölvorräte in der Welt überhaupt begrenzt sind und in absehbarer Zukunft mit ihrer totalen Erschöpfung zu rechnen ist.

Eine frühe Warnung hatte die Welt überhört: 1956 hatte Nasser den Suezkanal enteignet und verstaatlicht; eine Welle des arabischen Nationalismus brachte wachsende politische Spannungen, die mit der völligen Abriegelung des Kanals 1967 auch nur zu einer Art Waffenstillstand führten. Um Haaresbreite war damals die Welt an einer weltweiten kriegerischen Auseinandersetzung vorbeigekommen.

## *Aus- und Umweg mit Supertankern*

Die Industrienationen wußten sich noch einmal zu helfen. Supertanker mit einem Fassungsvermögen von 500000 und mehr Tonnen wurden jetzt erstmals gebaut und um das Kap der Guten Hoffnung geschickt. Sie machten den Suezkanal zumindest für den Öltransport entbehrlich. Die Weltwirtschaft vermochte sich – von Nasser unangefochten – wieder großzügig wie vordem auszuweiten.

Internationale Ölgesellschaften hatten riesige Mittel in Prospektierung und Förderung des Erdöls investiert und langjährige Konzessionen erworben. Sie waren universelle Besitzer des weltweiten Verteiler- und Verarbeitersystems. So konnten sie maßgeblich die Preise bestimmen, und dies sowohl für die Ursprungs- als auch für die Verbraucherländer.

Mit dem Ziel, das eingesetzte Kapital bald wieder hereinzuholen, wurden die Preise zunächst niedrig gehalten. Das hob den Verbrauch, kam also gleicherweise den Ölländern wie den Gesellschaften und den Verbraucherländern zugute, die ihrerseits auf die Mineralölerzeugnisse kräftig Steuern legten.

So aber konnte das nicht lange weitergehen – in einer Zeit, da in den ehemaligen Kolonialländern, den Brachfeldern der Weltwirtschaft, mehr und mehr nationales Bewußtsein erwachte. Für die Unterprivilegierten lag es darum nahe, die kostbaren Erdölquellen auf eigenem Terrain selbst in die Hand zu nehmen. Jene Staaten, in denen die großen internationalen Gesellschaften ihren Sitz hatten, besaßen ohnehin nicht mehr die politische Macht, ihren Schützlingen beizuspringen und deren Ansprüche auf das Öl zu verteidigen. Es kam zu Enteignungen, die friedlich und unter teilweiser Entschädigung der bisherigen Aktionäre abliefen. Schritt um Schritt ging der Einfluß der westlichen Ölkonzerne, insbesondere in den Ländern der arabischen Welt, verloren.

1960 gründeten die Förderländer die OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries), zu der neben den arabischen Staaten auch Nigeria, Venezuela und Indonesien zählen. Damit war

eine neue Machtposition errichtet. 1973 trat diese Organisation erstmals spürbar für den Verbraucher in Erscheinung: Der Ölpreis wurde über Nacht vervierfacht; wer nicht bereit war, diesen neuen Preis zu zahlen und auf diesem Umweg auch die nationalen arabischen Ziele zu billigen, der gefährdete seine eigene wirtschaftliche Existenz. In jenen Oktobertagen, als die Ölhäfen der westlichen Welt wie ausgestorben lagen und jeder Verkehr zu stocken schien, hatten wir den deutlichen Vorgeschmack einer unabsehbaren Katastrophe.

## *Ein Kartell, das Unruhe schafft*

Anfang Dezember 1973 wurde das Embargo gegen einige europäische Länder wieder aufgehoben, mit Ausnahme von Holland und Dänemark. Die nicht mehr boykottierten Länder hatten erklärt, keinen Waffenhandel mit Israel zu betreiben. Gegenüber den USA wurde jedoch der Boykott erst im März 1974, gegen Holland sogar erst im Juli 1974 aufgehoben. Dann floß das Öl wieder. Was blieb, das waren der Schrecken und die nachhaltige Erfahrung, daß alles, was das Öl betraf, keinesfalls mehr so weitergehen würde wie vordem. Der hohe Preis wurde keineswegs reduziert, vielmehr treten seitdem die OPEC-Länder in kurzen Abständen immer wieder zusammen und entscheiden einseitig über weitere Preiserhöhungen.

In dieser Weise verfahren sie nun Jahr um Jahr. So ist ein massives Kartell entstanden, das die Weltwirtschaft in Unruhe hält und selbst von den großen politischen Mächten kaum beeinflußt werden kann.

Der Rohstoffbesitz und die Macht, die er verschafft, hat das Selbstbewußtsein einiger Völker außerordentlich gefördert. War die Welt vorher schon in Ost und West geteilt, gab es andererseits eine »Dritte Welt«, die in wachsenden Kraftproben versuchte, ihre Existenzprobleme gegen die Mächtigen geltend zu machen, so war jetzt ein weiteres Instrument geschaffen, das im internationalen Spiel eine gewichtige Rolle beanspruchte.

Die Dritte Welt wurde nunmehr auch ihrerseits geteilt in die Länder, die Erdöl oder andere kostbare Rohstoffe wie Phosphate und Erze auf eigenem Territorium haben, und in solche, die nichts von alledem besitzen. Unversehens wurden so weitere Rohstoffprobleme sichtbar, etwa der Zugang zu Nahrungsmitteln, die Nutzung der Baumwolle, der Kaffee- und der Zuckerernten. Schließlich gewann auch der Besitz von Uranerzlagerstätten besondere Aspekte.

Im ohnehin labilen Gleichgewicht der weltwirtschaftlichen Kräfte entstanden neue Spannungsfelder, die auf der unterschiedlichen Ausstattung der Länder mit Rohstoffen beruhen. Ganz am Ende der Reihe figurierten jene Staaten, die weder industrielle Möglichkeiten zur Schaffung von Nationalvermögen kennen noch nennenswerte Bodenschätze im eigenen Land haben – besonders also Indien, Bangladesch und viele Länder Afrikas und Südamerikas.

Die vielfältig divergierenden Interessenunterschiede, die ganz natürlichen Bedürfnissen entspringen, mischen sich mit dem alten Zündstoff, der rund um die Erde noch aus der Zeit des Kolonialismus lagert. Da ist verständlich, wenn so oft mit militärischen oder revolutionären Plänen und Taten geliebäugelt wird. Nirgends ist sichtbar, wie solch schwelende Unruhe wirklich zu beschwichtigen ist.

Aus dieser Situation heraus entstand der »Nord-Süd-Dialog«, Ausdruck eines Spannungsfeldes ohnegleichen: Auf der nördlichen Hälfte unserer Erde – als Resultat geographischer Gegebenheiten, menschheitsgeschichtlicher und kultureller Entwicklung – eine zivilisatorisch ausgeprägte, am Wohlstand orientierte Industriegesellschaft, auf der südlichen Hälfte eine in der Vergangenheit sträflich vernachlässigte große Menschenzahl, der es an vielen notwendigen Gütern der Erde fehlt, die vielfach bittersten Hunger leidet. Es ist nur allzu verständlich, daß dieser Teil der Menschheit die dauernde Not nicht länger hinnehmen will und darum die unverhofften neuen Chancen zu nützen versucht.

Die wichtigste Chance aber ist auch für diese Länder das Erdöl. Haben oder Nichthaben entscheidet nicht nur über militärische Macht oder Ohnmacht, sondern vor allem über die eigene Teilnahme am zivilisatorischen Fortschritt.

Erdöl und Erdgas jedoch, die heute noch in gewaltigen Rohrleitungen über Kontinente hinweg in die großen Verbrauchszentren strömen, werden in absehbarer Zeit aufgebraucht sein.

Unserem gegenwärtigen Weltjahresverbrauch von etwa 3 Milliarden Tonnen Öl steht eine gesicherte Reserve von rund 260 Milliarden Tonnen gegenüber, die allerdings nach dem jetzigen Stand der Fördertechnik nur zu 25% ausgenutzt werden können. Man hofft allmählich auf 40% zu kommen.

Wenn man verantwortungsbewußt ist, muß man vorsorglich damit rechnen, daß die Vorräte – bei ständig steigendem Bedarf – nur noch für etwa dreißig Jahre reichen könnten. Zwar werden auch jetzt und in nächster Zeit neue Vorkommen erschlossen, aber mindestens im selben Maß stieg in den letzten Jahrzehnten auch der Bedarf. Es ist deshalb voraussehbar, wann alle Lagerstätten erschöpft sein werden. Die Erdölländer haben selbstverständlich recht, wenn sie geltend machen, daß sie dann in ihrem Lebensraum vor dem Nichts stehen.

Gewiß bleiben noch die beträchtlichen Vorräte an Braun- und Steinkohle, die viel größer sind als die des Öls. Jedoch auch sie werden irgendwann abgebaut sein, gar nicht zu reden davon, daß sie selten gerade dort liegen, wo sie ohne kostspieligen Aufwand gefördert werden könnten.

So ist das Problem der Energieversorgung rund um die Welt zum zentralen Schwerpunkt des politischen, wirtschaftlichen und technischen Denkens und Handelns geworden. Es liegt auf der Hand, daß unter diesen Aspekten die Frage nach der Kernenergie allenthalben weit im Vordergrund der Überlegungen steht. Ihr kommt nicht nur im militärischen Machtbereich eine Schlüsselstellung zu. Auch die Industrie sieht in ihr den Ausweg aus einem Dilemma, in das die

Energiegewinnung aus den traditionellen Rohstoffen geraten ist. Die friedliche Nutzung der Kernenergie ist für die ganze Menschheit zu einer Schicksalsfrage geworden.

*Bestandsaufnahme und Programm*

Angesichts dieser Lage ist es begreiflich und unabdingbar, daß in fast allen Ländern der Erde damit begonnen worden ist, Inventur zu machen. Es geht dabei einfach darum, sich über Energiesoll und -haben von heute, morgen und vor allem übermorgen Rechenschaft abzulegen, konkrete Vorstellungen zu formulieren und Programme zu entwerfen.

Amerika hat es auch in dieser Hinsicht wieder einmal besser. Gleichwohl mag am Beispiel der Vereinigten Staaten die positive Seite des Sachverhalts – gerade in bezug auf die Entwicklung der Kernkraft – besonders deutlich werden. Rohöl- und Erdgasvorräte sind in den USA bekanntlich enorm. Dennoch werden selbst diese Vorräte – angesichts des riesigen Verbrauchs im Lande – langfristig nicht reichen. Glücklicherweise sorgen die jüngst in Alaska neu erschlossenen Ölfelder für zusätzliche Vorräte. Außerdem sind in den Staaten riesige Lager an Steinkohle, Braunkohle und Ölschiefer zum Teil noch gar nicht zum Abbau erschlossen.

Hinzu kommt für die USA auch noch die unmittelbare Nachbarschaft zu Kanada, das mit seinen beträchtlichen Rohstoffquellen immer eine beruhigende Reserve für die Vereinigten Staaten sein wird. So rasch wie uns in Europa oder in der Bundesrepublik kann den Amerikanern also von der Rohstoffseite kein Engpaß drohen.

Trotzdem leisten sich die USA seit langer Zeit und unter außergewöhnlichem Aufwand Kernenergie auch und gerade für zivile industrielle Zwecke. Mag man getrost unterstellen oder auch argumentieren, daß dort die friedliche Nutzung der Kernkraft unter Berücksichtigung des atomaren Rüstungspotentials sozusagen als zweite Schiene der Entwicklung ohne allzu große Anstrengung offenstand. Aber die Amerikaner, deren Energieverbrauch um vieles höher ist als in jedem anderen Land, haben zu eben dieser Kernkraft

ganz sicher auch ein besseres, ein viel weniger verkrampftes Verhältnis, als es in manchen europäischen Ländern, insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland, besteht. Für sie war der Einbau dieser Energiequelle in das Versorgungsprogramm ein höchst selbstverständlicher Vorgang. Dies um so mehr, da in den USA mittlerweile jahrzehntelange Erfahrungen gezeigt haben, daß Erzeugung von Kernenergie nicht mehr und nicht weniger gefährlich ist als die traditionellen Formen der Energiegewinnung.

Durchaus ähnlich, wenn auch mit ganz anderen Vorzeichen, liegen die Verhältnisse in der Sowjetunion. Freilich ist dort der zivile und industrielle Bedarf an Energie weit niedriger, außerdem vom Staat gesteuert. Die reichen Rohstoffvorräte bewahren dieses Land noch für Jahrzehnte vor drückenden Energiesorgen. Selbst Kohle und Wasserkraft sind noch fast unerschöpflich. Dennoch widmet auch Rußland der Kernenergie hohe Aufmerksamkeit. Das bedeutende wissenschaftliche und technische Potential, das auch in der UdSSR im Zuge der Atomrüstung angefallen ist, legt die Frage nach einer Energieerzeugung durch Kernkraft ohnehin nahe. Vor allem der Energiebedarf der Landwirtschaft, die heute wegen Energieunterversorgung noch keineswegs wirklich rationell betrieben wird, dürfte in Zukunft so groß werden, daß der Staat, um seine Bodenschätze, insbesondere Erdöl, zu schonen und um die Kosten im Griff zu haben, dazu vermutlich eher Kernenergieanlagen nützen und ausbauen wird.

In den Kreis dieser »Reichen« gehört, wenn vorerst auch noch mit Abstand, China. Das dort weltanschaulich geforderte »einfache Leben« des Volkes und eine ausgeprägte Autoritätsgläubigkeit sind letztlich wohl auch Unterpfand dafür, daß die bislang zwar nur teilweise bekannten, wahrscheinlich jedoch immensen Bodenschätze erst später umfassend genutzt werden. So wird die Versorgung der Bevölkerung, zunächst gewiß noch in Grenzen, einmal ganz aus eigener Kraft gesichert sein. Daß China längst die Atomenergie beherrscht, ist hinreichend bekannt. Es ist darum nur eine Frage der Zeit und der politischen Entscheidung, wann in China die Kernenergie für den industriellen Fortschritt eingesetzt wird.

## *Ohne Rohstoff ist Wissen nicht Macht*

Die hochentwickelten Industrieländer Westeuropas – aber auch Japan – haben seit eh und je ihre großen Rohstoffprobleme. Es fehlen im eigenen Land ausreichende Energieträger. Für die Bundesrepublik Deutschland ändert sich daran nichts Wesentliches, wenn eines Tages in der Nordsee, vielleicht auch an anderen Küsten, größere Vorräte an Erdgas und -öl erschlossen werden.

Unsere Chancen einer ausreichenden eigenen Energieversorgung liegen allein im hohen Stand der industriellen Entwicklung. Das gilt heute insbesondere in bezug auf die Kernenergie. Hier zählt die Bundesrepublik – neben den Vereinigten Staaten – schließlich zu den am weitesten fortgeschrittenen Ländern.

Alle Zukunftschancen erwachsen in den westlichen Industrieländern, wie eben auch in Japan, ausschließlich aus dem wissenschaftlichen und technischen Know-how. Das ist eine Stärke, die aber nicht mit Macht zu verwechseln ist, weil sie stets auf Rohstoffe von draußen angewiesen bleibt. Zu diesem und mit diesem Know-how müssen wir – schon aus Gründen gesunder Selbsterhaltung – für morgen und übermorgen auch unsere eigenen Energiebastionen errichten. Wollen wir von den großen Energiebesitzern dieser Welt nicht hoffnungslos überrundet werden und in immerwährende Abhängigkeit von ihnen geraten, dann gibt es für uns keine andere Wahl, als uns ihnen mit einer eigenen Kernenergiegewinnung industriell ebenbürtig zur Seite zu stellen. Nur so werden wir auch in der Lage sein, den Völkern der Dritten Welt mit Gütern und industriellen Leistungen die Hilfe zu bringen, die sie von uns erwarten.

Selbst die reichen Ölländer, die derzeit verständlicherweise ihre Chancen nützen wollen, also mit enormen Preisen aus dem vollen schöpfen, sind hellhörig geworden: Mit unterschiedlichem Geschick gehen sie daran, den Lebensstandard ihrer Bevölkerung zu heben. Dabei wird sicher viel Geld falsch ausgegeben. Aber diese Länder wissen längst, daß ihr Ölreichtum begrenzt ist, daß sie sich deshalb mit einer vernünftigen Energiepolitik um ihre Zukunft kümmern müssen. Was sie dazu vor allem brauchen, ist technische und wis-

senschaftliche Zusammenarbeit. Darum sind die Industrieländer Europas für sie durchaus interessante Partner.

### *Der Ölpreis knirscht in der Weltwirtschaft*

Besonders nachteilig mußten sich Energiekrise und Verteuerung des Erdöls in jenem großen Teil der Dritten Welt auswirken, der im eigenen Land keine Energievorkommen hat und wegen des niedrigen Standes seiner industriellen Entwicklungen erst recht keinen Ausgleich für den gewaltigen Devisenbedarf erwirtschaften kann, den die Energiepreiserhöhung mit sich gebracht hat. Indien, Südamerika und weite Teile Afrikas sind – gerade da, wo inzwischen so etwas wie eine bescheidene Volkswirtschaft zu keimen begonnen hatte – in Gefahr geraten, in ihrer Entwicklung wieder zurückzufallen. Neuerliche Verelendung mit allen ihren politischen Begleiterscheinungen scheint ohne fremde Hilfe unaufhaltsam zu sein. – Die maßlose Verteuerung des Öls, dessen Preis bis heute noch dazu fast jedes Jahr neu fest-, das heißt heraufgesetzt wird, hat das Gleichgewicht der Weltwirtschaft für lange Zeit gestört; es knirscht sozusagen in ihrem Räderwerk.

Der Jahresverbrauch an Erdöl in der Welt hatte 1973 noch einen Wert von rund 200 Milliarden Mark. Wenige Monate nach dem Boykott durch die OPEC stieg er auf 600 Milliarden, und das zu einer Zeit, da der gesamte Warenaustausch rund um die Erde bei 1000 Milliarden lag. – Große Märkte wurden ernsthaft gefährdet. Je nach der Reaktion einzelner Staaten kam es zu Verschiebungen in den Inflationsraten, natürlich auch in den Lebenshaltungskosten. Soziallasten waren Veränderungen unterworfen, die wiederum auf die Produktionskosten zurückwirkten.

### *Die Chemie, bis ins Mark getroffen*

Am meisten geschädigt war und ist die chemische Industrie. Sie braucht den Kohlenstoff- und den Wasserstoffgehalt der fossilen Brennstoffe als Ausgangsmaterial für zahlreiche Produkte. Über-

dies benötigt sie für ihre Herstellungsverfahren, vor allem bei elektrochemischen Prozessen, große Mengen an Wärme und elektrischer Energie. – Nun hatte sich ihre Technik nach dem Zweiten Weltkrieg auch in der Bundesrepublik völlig auf Erdgas und Erdöl umgestellt. Diese waren wesentlich billiger als die alten Rohstoffe Braun- und Steinkohle.

Erst auf der Ausgangsbasis Erdöl war jene Massenproduktion an Düngemitteln, Kunststoffen, synthetischem Kautschuk und Kunstfasern überhaupt möglich geworden, ohne die heute eine Volkswirtschaft kaum auskommen kann.

Als all diese Produkte sich auf der Rohstoffseite drei- bis vierfach verteuerten, geriet der gesamte Warenaustausch zunächst einmal völlig durcheinander. Manche volkreichen Länder konnten ihren Düngemittelbedarf nicht mehr aus ihrer Zahlungsbilanz decken und wurden deshalb an ihrer empfindlichsten Stelle, nämlich an ihrer landwirtschaftlichen Versorgung verwundet. Wachstum und Ertrag der chemischen Industrie gingen – nach einem kurzen Zwischenspurt, der Anfang 1974 aus Angstkäufen genährt war – weiter zurück. Bis heute blieben die Anlagen in den Industrieländern unterbeschäftigt, da der Export immer problematischer wird. Die Errichtung chemischer Fabriken in den Entwicklungsländern, die jetzt dringend notwendig und erwünscht wäre, stößt indessen auf Struktur- und Finanzierungsschwierigkeiten.

So hat die Ölkrise – zunächst nur als wirksame Waffe im arabisch-israelischen Krieg gedacht – die Weltwirtschaft in einem Maß verändert, das erst langsam in seiner Tragweite erkennbar wird. Jahrzehnte werden vergehen, ehe auf diese Herausforderung eine endgültige Antwort gefunden werden kann. Und das Gleichgewicht, das bis dahin womöglich wieder entsteht, ist sicher ein ganz anderes als jenes, das im Oktober 1973 verlorenging.

### *Ein deutsches Energieprogramm*

September 1973, also kurz vor der Ölkrise, veröffentlichte die deutsche Bundesregierung ein bis 1985 befristetes Energiepro-

gramm. Es war das erste Mal in der Geschichte dieses Landes, daß eine so langfristige Vorausschau erstellt wurde. Schließlich irritierten immer noch manche schlechten Erfahrungen, die einst mit »Vierjahresplänen« gemacht worden waren.

Auch hatten in der Bundesrepublik Erdöl und Erdgas die traditionelle Stein- und Braunkohle aus der Energieversorgung zurückgedrängt. Der Anstieg des Primärenergiebedarfs in den letzten fünfzehn Jahren war mittlerweile ausschließlich vom Öl gedeckt worden. Jetzt – im neuen Energieprogramm – ging es darum, den Anteil von Erdöl und -gas wieder zu begrenzen, für den weiter wachsenden Bedarf aber andere Energiequellen zu suchen.

Das Programm (Bild 1) unterstellte, daß der Primärenergiebedarf bis 1985 jährlich um vier bis fünf Prozent, der Einsatz an elektrischer Energie sogar noch mehr steigen werde. Dies sei, so wurde mit Recht angenommen, eine natürliche Folge des weiter wachsenden Lebensstandards.

Elektrische Energie ist nun einmal besonders umweltfreundlich und bequem. Sie läßt sich leicht über weite Strecken transportieren. Elektrische Haushaltsmaschinen und viele andere mit Elektrizität betriebene Geräte und Anlagen in unserer Umgebung erleichtern mehr und mehr unser Privatleben. Der Lebensstandard eines Volkes läßt sich geradezu am Pro-Kopf-Verbrauch an elektrischer Energie ablesen. Bild 2 zeigt dies an einigen besonders markanten Beispielen.

Das Programm geht davon aus, daß die Braunkohle auch weiterhin ihren Anteil an der Energieerzeugung behalten wird. Neu erschlossene Vorkommen in einer Tiefe von 300 bis 400 Metern und mit einer Mächtigkeit von etwa achtzig Metern werden mit modernsten Fördermethoden im Tagebau abgebaut. Riesige Bagger und Transporteinrichtungen fördern in der Bundesrepublik Deutschland täglich 100000 und mehr Tonnen. Die wasser- und aschehaltige Rohbraunkohle wird in Kraftwerken an Ort und Stelle verbrannt. Dies ist für die Bundesrepublik nach wie vor die billigste Energieversorgung, wenn wir gleichwohl auch nicht übersehen dürfen, daß sie ihre absehbaren Grenzen hat.

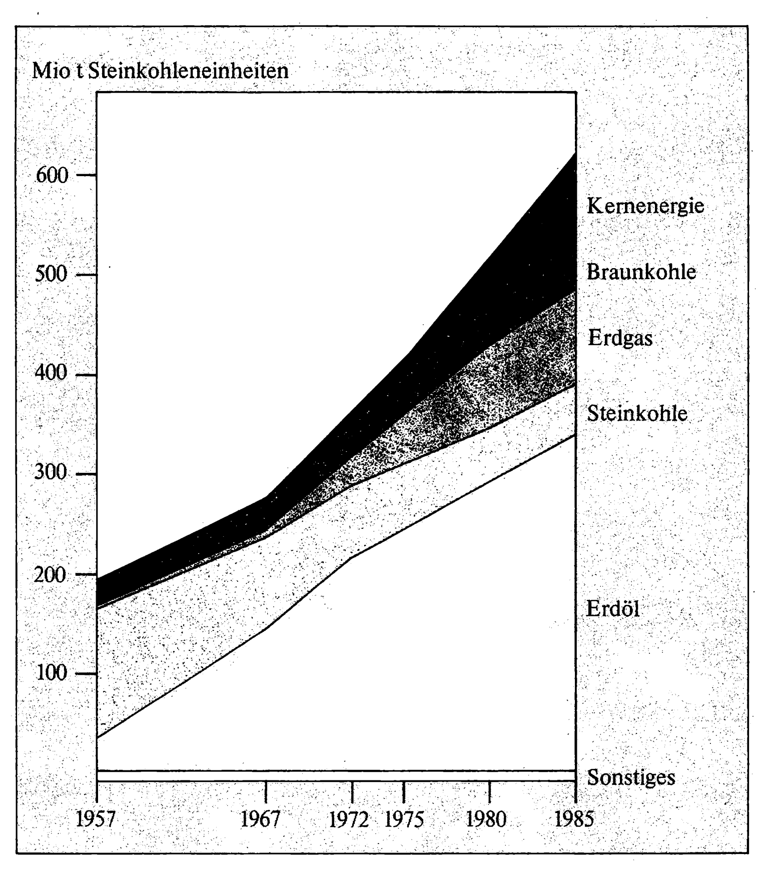



**Bild 1 Energieprogramm 1973 der Bundesrepublik Deutschland**

Der Steinkohle wird in diesem Programm keine sehr große Zukunft mehr eingeräumt. Die höchste Förderleistung lag in der Nachkriegszeit einmal bei 140 Millionen Jahrestonnen. Sie ist auf weit unter 100 Millionen Tonnen gesunken. Ursache dafür waren unter anderem die ständig steigenden Förderkosten. Steinkohle dient uns heute nur noch zur Stahlerzeugung oder zur Gewinnung von elektrischer Energie.

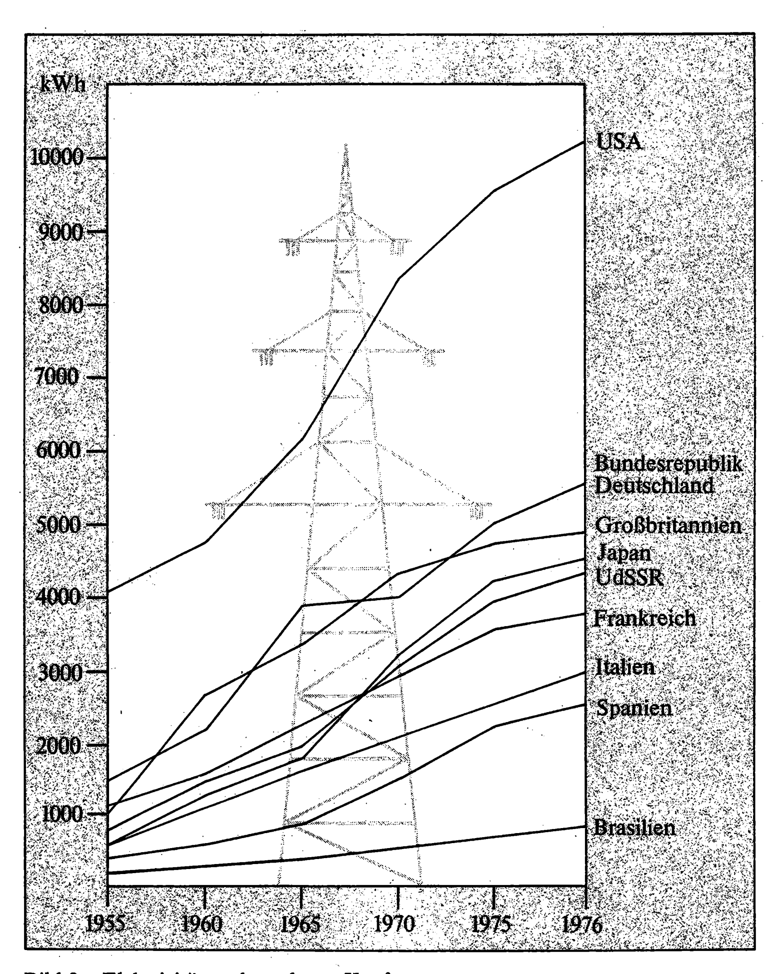



Bild 2 Elektrizitätsverbrauch pro Kopf

## *Schätzungen – von der Realität überrollt*

Dieses deutsche Energieprogramm hat viel Aufsehen erregt. Wie alle volkswirtschaftlichen Prognosen solcher Art löste es lebhafte Diskussionen aus. Kritik im In- wie im Ausland erinnerte vor allem daran, daß man sich nicht darauf verlassen dürfe, der Lebensstandard – und damit der Energiebedarf – wachse unaufhörlich weiter.

Besonders unbehaglich war vielen dabei, daß dieses Programm – wie alle ähnlichen – eine Lösung des Problems allein im großzügigen Ausbau der Kernenergie sah. Die deutsche Studie schätzte, der Anteil der Kernenergie – aus der zu dieser Zeit drei Prozent der Energieerzeugung bestritten wurden – werde 1985 bei 15 Prozent liegen. Das entsprach der erwarteten elektrischen Leistung von 40000 bis 45000 Megawatt.

Es war durchaus verdienstvoll, daß erstmals der Versuch einer solchen Vorausschau gemacht wurde, und in der Tat auch höchste Zeit, daß eine so stark expandierende Volkswirtschaft wie die der Bundesrepublik sich über die Zukunft ihres Energiebedarfs Gedanken machte.

Das alles aber geschah, wie gesagt, noch kurz vor der Ölkrise. Die Konsequenzen einer solchen Aktion der arabischen Länder waren damals noch nicht abzusehen. Jetzt aber, nach dem Ölembargo, ging der Verbrauch an Erdöl, wie an Energie ganz allgemein, zunächst einmal schlagartig zurück. Aus Angst vor drohenden Versorgungsproblemen wurde gespart. Die Regierung zwang bekanntlich unter anderem zu Verkehrseinschränkungen am Wochenende.

Bald – und ein wenig wider Erwarten – floß jedoch das Öl wieder reichlicher. Es war aber auch erheblich teurer geworden. Das schlug sich sogleich in den Erzeugerpreisen nieder. Der Weltmarkt nahm die neue Lage fürs erste hin. Ja, es kam sogar zu einem neuen Boom, in dessen Sog sowohl die Nachfrage als auch die Preise gewaltig nach oben kletterten. Doch schon 1974 flaute diese überhitzte Konjunktur wieder ab. Der Energieverbrauch ging zurück. Die Krise hatte die Weltwirtschaft wohl zu tief getroffen. Alle optimistischen Schätzungen wurden von der Realität überrollt.

Die meisten wirtschaftlichen Prognosen jener Zeit haben die schwerwiegenden Konsequenzen des Ölembargos und des allgemeinen Verhaltens der OPEC-Länder zunächst nicht erkannt und aus unterschiedlichen Motiven sicher auch lange Zeit nicht recht wahrhaben wollen. Das deutsche Energieprogramm wurde im Herbst 1974 sogar noch einmal fortgeschrieben, und zwar fast in seinem alten Text. Selbst die Vorstellungen vom späteren Anteil der Kernenergie wurden darin noch einmal ausdrücklich wiederholt, sogar noch um einiges höhergeschraubt.

Schon 1975 jedoch ging der Energieverbrauch noch einmal um zweieinhalb Prozent zurück. Erst ein Jahr danach lag er wieder bei den Zahlen von 1973. Drei Jahre also, in denen der Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik auf der Stelle trat, wie in den anderen Industrieländern auch.

### *Lebensstandard und Energieproblem*

Unter diesen Aspekten schienen – vorübergehend – jene recht zu behalten, die immer schon vorausgesagt hatten, unsere industrielle Leistung und unser Lebensstandard würden nicht ständig weiterwachsen. Demzufolge sei dann selbstverständlich auch nicht mehr soviel Energie notwendig. Das war für viele überdies ein willkommener Anlaß, darüber zu philosophieren, inwieweit durch Einführung neuer Wirtschaftsmethoden, vielleicht auch neuer Strukturen, womöglich noch mehr Energie gespart werden könne. So hoffte man zugleich, das lästige Problem der Energieknappheit loszuwerden, damit schließlich von Kernenergie überhaupt nicht mehr gesprochen zu werden brauchte.

Nun ist der sparsame Umgang mit Energie wahrhaftig eine entscheidende Forderung für die verläßliche Funktion unserer gegenwärtigen Wirtschaftsordnung. Nur sollten wir uns zuvor darüber abstimmen, ob der jetzige Lebensstandard eingeschränkt werden soll, vor allem, ob wir – und zwar jeder von uns – dazu auch wirklich bereit sind. Genau an diesem Punkt aber scheiden sich die Geister. Die Bürger haben lange genug unter Mangel und Bewirtschaftung

gelitten; sie neigen nicht sonderlich dazu, nun von neuem den Gürtel erheblich enger zu schnallen.

Andererseits hat die Wohlstandsgesellschaft aber auch in vieler Hinsicht zur Verschwendung geführt. Wir überheizen z.B. die Räume in unseren Wohnungen, häufig auch die ungenutzten Zimmer; die Klimatisierung der Büroräume, der Wohnungen ist eine Annehmlichkeit, die viel Energie benötigt. In den Vereinigten Staaten jedoch, wo diese Wohnkultur schon sehr viel weiter verbreitet ist, wird zur Kühlung der Wohn- und Arbeitsräume im Sommer bereits mehr Energie verbraucht als zu ihrer Beheizung im Winter. Die Deckung dieses Sommerbedarfs führt in den USA zu Schwierigkeiten.

Nach wie vor gibt es allenthalben gewaltige Wohn- und Bürogebäude, die ebenso große Fensterfronten wie eine schlechte Isolierung haben. In ihnen belästigt die Menschen nicht nur der Lärm von außen, sondern drinnen kühlen die Räume rasch ab, d.h. sie müssen intensiver beheizt werden. Neue Bauvorschriften bzw. -bedingungen könnten das eine wie das andere vermeiden helfen. Für größere Fensterflächen müßten Doppelscheiben gefordert werden.

Sparsamkeit im Verbrauch von Energie wird in Krisenzeiten zu einem nationalen Gebot. Ob das allein zur Lösung des Problems ausreicht, ist aber mehr als fraglich. Dirigistische Eingriffe des Staates sind in keinem Land beliebt, in unserem freien Gesellschaftssystem kaum denkbar.

### *Zuviel Verlust in Kraftanlagen*

Ein sozusagen ewiges Problem ist auch die bessere Nutzung der vorhandenen Primärenergie, das bedeutet: die Umwandlung von Wärme in Elektrizität. Sie frißt für sich selbst schon zuviel Energie. Trotz aller Fortschritte, die seit Erfindung der Dampfmaschine gemacht worden sind, stoßen die Techniker wieder und wieder an Grenzen, die nicht überschritten werden können. Eine moderne Dampfkraftanlage bringt in ihrer Leistung nun einmal nicht mehr als 35 Prozent effektiven Nutzen. In Gasturbinen kann dieser

Prozentsatz um einiges, aber nicht entscheidend gesteigert werden.

Sehr viel besser genützt werden könnten fossile Brennstoffe etwa durch Weiterentwicklung der Brennstoffelemente. Der Grundgedanke dazu ist jahrzehntealt: Durch anodische Oxidation von großoberflächigem oder gasförmigem Brennstoff läßt sich in einer galvanischen Kette bei normaler Temperatur – ähnlich wie aus einer elektrischen Batterie – Strom unmittelbar entnehmen. Der Wirkungsgrad solcher Konstruktionen liegt bei 65 Prozent. Aber auch dieses Projekt ist nie über kleine Arbeitseinheiten hinausgekommen. Die elektrischen Entladungen an den Elektroden laufen mit zu geringer Geschwindigkeit ab, deshalb ist die Energiedichte zu klein.

### *Die gute, alte Sonne im Visier*

Eine der wirklich großen Chancen liegt selbstverständlich in der Nutzung aller Abwärme. Schon unsere traditionellen Kraftwerke, erst recht die Kernreaktoren, geben einstweilen noch viel heißes Wasser ungenutzt an die Flüsse ab, so daß die Vegetation gestört wird. Würde man dieses heiße Wasser abfangen und mittels Rohrleitungen in benachbarte Wohngebiete bringen, so könnte sehr viel Energie gewonnen werden. Fernwärme dieser Art gibt es bei uns überdies schon seit vielen Jahren. Nur müssen dazu viele zusätzliche Rohrleitungen verlegt werden, und das ist vor allem in den Städten nicht ganz einfach.

In jüngster Zeit wird im Zusammenhang mit neuen Möglichkeiten der Energiegewinnung wieder einmal viel von der Sonne gesprochen. Allgemein bekannt sind schon die Versuche, ihre Energie mit Hilfe von Spezialplatten auf Hausdächern einzufangen und damit warmes Wasser, etwa für Heizzwecke, zu gewinnen. Das Forschungsministerium unterstützt solche Versuche. Sie werden sicherlich zu neuen Überlegungen und Erkenntnissen führen. Für die Zeit, in der keine Sonne scheint, ist eine aufwendige Reservehaltung, zum Beispiel durch Warmwasserbehälter, notwendig.

Schließlich wird eine gründliche Rechnung ergeben, daß auch die Sonnenenergie nicht so billig zu erschließen ist, wie es auf den ersten Blick scheint.

Besonders interessante Fortschritte sind mittlerweile mit den Solarbatterien der Erdsatelliten gemacht worden. Dabei fangen Sonnensegel die Wärmestrahlung auf und verwandeln sie an Halbleitern unmittelbar in elektrische Energie. Diese Halbleiter sind vorerst jedoch noch sehr teuer. Für den zivilen Bereich kommen sie deshalb derzeit noch nicht in Betracht. Es wird aber daran gearbeitet, diese Halbleitertechnik zu verbilligen.

Ausgeschlossen scheint es keineswegs, daß mit ihrer Hilfe zehn bis zwanzig Prozent der eingestrahlten Sonnenenergie unmittelbar in elektrischen Strom umgewandelt werden kann. Hier entsteht eine neue Technik, die sowohl frappiert als auch vielleicht einmal von großem Nutzen sein wird. Die Wirtschaftlichkeit könnte eine Frage geringer Bedeutung werden, wenn Erdöl und Erdgas ständig teurer werden.

### *Das Wasser – bei uns fast ausverkauft*

Als eine der ältesten Energiequellen, die der Mensch kennt und nach Kräften genutzt hat und noch nutzt, ist das Wasser bekannt. Es ist – zumindest in den westlichen Industriestaaten – längst so gut wie »ausverkauft«. Auf der Landkarte der Flüsse, Seen, der größeren oder kleineren Gewässer gibt es kaum noch Flecken, wo wir dieses Element noch nicht in Dienst genommen hätten. In anderen Kontinenten freilich, etwa in Rußland, Südamerika oder Afrika, liegt ohne Zweifel noch viel Wasserkraft brach. Sie zu nutzen ist eine Frage der allgemeinen Investitionspolitik. Elektrische Energie kann man nicht beliebig weit ohne beachtliche Verluste transportieren.

Die Grenzen der Wirtschaftlichkeit sind beim Wasser stets da erreicht, wo sein nutzbares Gefälle zu klein ist, die Wassermasse also sehr groß sein müßte, um überhaupt eine nennenswerte Leistung zu gewinnen. Aus diesem Grund sind zum Beispiel alle Bemühungen erfolglos geblieben, aus dem Höhenunterschied beim Wechsel von

Ebbe und Flut an den Küsten Energie zu gewinnen. Diese Höhenunterschiede von sieben bis acht Metern fordern vergleichsweise riesige Anlagen; Versuche in Nordfrankreich hatten ein wenig ermutigendes Ergebnis.

Schließlich bliebe als Naturkraft noch der Wind. Windmühlen sind alte Hilfsmittel des Menschen, besonders auf dem Lande. Sie könnten mit wenig technischem Aufwand durchaus auch wesentlich verbessert werden. Aber es müßten unwahrscheinlich viele Windmühlen sein, um sich in der Energiebilanz bemerkbar zu machen. Selbst überall da, wo ausreichende und gleichmäßige Windbewegung gegeben ist, wo schließlich auch die landschaftlichen Verhältnisse es zulassen, weiträumige Apparaturen zu errichten, kann das Aufkommen an Windkraft in der Energiebilanz niemals ein großer Aktivposten werden.

### *Hic Rhodos – hic salta!*

Jede nüchterne Prüfung der Lage in der Bundesrepublik Deutschland wie der Verhältnisse in Mitteleuropa kann zu keinem anderen Ergebnis kommen: Auf traditionelle und bequeme Weise werden wir – wenn uns wirklich daran gelegen ist, unseren Energiebedarf auf die Dauer zu sichern – den Mangel an fossilen Brennstoffen nicht mehr wettmachen können.

Erst recht müßte es gegen jedes Sicherheitsbedürfnis verstoßen, wenn wir uns damit abfinden wollten, unseren wachsenden Bedarf durch immer stärkeren Zukauf draußen in der Welt zu decken und uns so wachsenden unwägbaren wirtschaftlichen Belastungen auszusetzen. Ebensowenig kann ernstlich in Betracht gezogen werden, energieverbrauchende Arbeitsgebiete aus dem Inland ins Ausland zu verlegen und die Bundesrepublik damit in eine endgültige Abhängigkeit, wenn nicht gar in die Zweitrangigkeit, zu begeben. Ein noch stärkerer Druck auf dem Arbeitsmarkt ist untragbar. Die Energiekrise hat, wie in anderen Ländern, so auch bei uns schon allzuviel Arbeitslosigkeit nach sich gezogen.

Die Generation von morgen verlangt von uns eine zielstrebige,

alle Risiken beachtende Initiative. Öl, Gas und Kohle gehen zur Neige. Was von ihnen in den nächsten Jahrzehnten noch greifbar ist, muß sparsam bewirtschaftet, muß vor allem mehr und mehr jener Verwendung vorbehalten werden, die bisher noch nicht durch andere Rohstoffe abgedeckt werden kann: Die Herstellung von Arzneimitteln, Düngemitteln, Kunststoffen etc. und anderen lebenswichtigen Verbrauchsgütern bleibt noch lange auf die fossilen Stoffe angewiesen. Dafür müssen sie reserviert werden.

Es hat keinerlei Sinn, auch die Frage der Energieversorgung ideologisieren zu wollen. Keine politische Zwangsvorstellung kommt daran vorbei, daß dieses Problem in weiterer Zukunft weitgehend ohne Öl, Gas und Kohle gelöst werden muß. Unabdingbar kann es allein durch die Kernenergie gelöst werden.

Als es den Menschen gelungen war, den Schleier vor dem Geheimnis der im Innern der Atome schlummernden Kräfte ein wenig zu lüften, haben sie nicht gezögert, diese Erkenntnisse zur Vernichtung einzusetzen. Die Bemühungen um die friedliche Nutzung haben erst sehr viel später begonnen. Sie bergen die Möglichkeit in sich, den Energiebedarf für alle Zeiten zu decken.

Es wäre eine verhängnisvolle Bewußtseinsspaltung, wenn die Menschen den darin liegenden Segen nicht nutzen wollten.

# Kapitel 2
# DER RÜCKZUG IST ABGESCHNITTEN

Im Zuge der Diskussion um die friedliche Nutzung der Kernenergie taucht in den letzten Jahren immer wieder die Forderung auf, alle Arbeiten in dieser Richtung einzustellen oder sie zumindest für absehbare Zeit zu unterbrechen. Derlei Erwägungen lassen nur den Schluß zu, daß die Kernspaltung, so wie sie seit Jahrzehnten in allen Industriestaaten betrieben wird, für viele Zeitgenossen ein unverstandenes Wunder geblieben ist.

Das Einzigartige an der Entdeckung der Uranspaltung durch Hahn und Strassmann im Dezember 1938 waren die unverhofften Konsequenzen, die sie unmittelbar nach sich zog, und ihre im weitesten Sinn politischen Auswirkungen.

Zunächst einmal überraschte es die Wissenschaft, daß bei diesem Experiment das Gegenteil dessen herauskam, was sie erwartet hatte. Der an sich einfache und mit bewundernswerter analytischer Geschicklichkeit angelegte Versuch ergab, daß es bei der Bestrahlung des Urans mit Neutronen zu einer Spaltung in kleine Bruchstücke kam – und nicht, wie zu erwarten gewesen war, zur Bildung größerer und schwererer Transurane.

Nun hat es derartige Überraschungen in der naturwissenschaftlichen Forschung immer wieder gegeben. Diesmal aber rief das Ergebnis in der wissenschaftlichen Welt eine starke Reaktion hervor.

Die Entdeckung geschah in den letzten Dezembertagen 1938. Zehn Tage nach Bekanntmachung des Ergebnisses brachte Lise Meitner, Hahns langjährige Mitarbeiterin, zusammen mit Otto

Robert Frisch zwei Mitteilungen in der englischen Zeitschrift »Nature«. Frau Meitner hatte durch eine persönliche Mitteilung Otto Hahns vom Ereignis dieser Entdeckung Kenntnis erlangt. In »Nature« veröffentlichte sie nun mit ihrem Neffen Frisch eine Deutung dessen, was in Berlin-Dahlem geglückt war.

Knapp vier Monate später schickten die französischen Physiker Frédéric Joliot, Hans von Halban und Lew Kowarski eine kurze Arbeit an die gleiche englische Zeitschrift. Der Titel lautete: »Freisetzung von Neutronen bei der Kernexplosion des Urans«. Das aber war die erste Darstellung der Möglichkeit einer Kettenreaktion, wie sie nun mit der Uranspaltung bewirkt werden konnte.

### *»Kettenreaktion« einer Entwicklung*

Am 2. August 1939, also unmittelbar vor Ausbruch des Zweiten Weltkrieges, richtete Albert Einstein seinen historischen Brief an den amerikanischen Präsidenten. Darin klärte er – unter Berufung auf die jüngste Entdeckung – den Adressaten auf, daß jetzt eine Atombombe gebaut werden könne. Man müsse allerdings damit rechnen, daß die Deutschen, unter denen Hahn ja lebte, ebendies tun würden. Und er beschwor den Präsidenten, in den USA sofort Vorbereitungen zum Bau von Kernwaffen zu treffen. In der Tat lief unmittelbar danach in den Staaten das »Manhattan-Projekt« an. Und schon im Dezember 1942 wurde der erste von Enrico Fermi in Chikago gebaute Reaktor kritisch.

Wahrhaftig ein dramatischer Verlauf, wenn man sich vor Augen hält, daß die Deutschen – rein theoretisch – sich mit Hahns Entdekkung einen Vorsprung hätten sichern können, der möglicherweise zu einem anderen Ausgang des Krieges geführt haben würde. Noch nie war einem Wissenschaftler eine Entdeckung so förmlich aus den Händen gerissen worden – freilich nicht von seinen eigenen Landsleuten. Otto Hahn wäre allerdings der letzte gewesen, der vermutet hätte, daß sein Experiment in wenigen Jahren zu einer Entwicklung führen würde, die die Welt in Atem halten sollte. Aber jede Entwicklung hat ihre ganz eigene Kettenreaktion.

Die Zeit, in die Hahns Entdeckung fiel, war allerdings solch einer Entwicklung »günstig«: die allgemeine Erregung des beginnenden zweiten Krieges, die Erbitterung, mit der er mehr und mehr geführt wurde – was lag da für ein Land wie die Vereinigten Staaten, das alles an Mitteln, Menschen und Material mobilisieren konnte, näher, als die Kernspaltung unverzüglich in den Dienst des Krieges zu stellen.

Vielleicht wäre es dazu so rasch nicht einmal gekommen, wenn nicht die wissenschaftliche Welt seit langem alle Voraussetzungen für eine so rapide Entwicklung und eine so konsequente Auslegung des Hahnschen Experiments geschaffen hätte. Die Entdeckung von Hahn und Strassmann war nur noch das Schlußglied einer Kette, die von den Physikern im vorausgegangenen halben Jahrhundert geschmiedet worden war. Auch Albert Einstein hatte viel dazu beigetragen.

### *Hahn bestätigt Einsteins Theorie*

Als junger Physiker und Sachbearbeiter im Patentamt von Bern hatte Einstein 1905 in der deutschen Zeitschrift »Annalen der Physik« zu seiner schon veröffentlichen Relativitätstheorie ein kurzes Essay von zweieinhalb Seiten nachgeliefert; es trug die Überschrift »Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?« Der Autor erläuterte in dieser Arbeit seine Theorie, die heute ja fast jedem Fachmann geläufig ist:

$$E = m \cdot c^2$$

Das bedeutet: Der Energieinhalt (E) eines Körpers ist gleich seiner Masse (m) mal dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit (c = 300 000 km/sec). Einstein hat selbst errechnet, daß bei einer Verringerung der Masse um ein Gramm eine Energie von $9 \cdot 10^{20}$ erg frei wird. Er schrieb dazu: »Die Masse eines Körpers ist ein Maß für seinen Energieinhalt. Ändert sich die Energie, so ändert sich die Masse im selben Sinne.« Und später: »Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maße veränderlich ist (z.B. bei den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen

wird. Wenn die Theorie den Tatsachen entspricht, so überträgt die Strahlung Trägheit zwischen dem emittierenden und dem absorbierenden Körper.«

Das Experiment von Hahn und Strassmann war eine glänzende Bestätigung dieser Einsteinschen Theorie. Seither hatte man über den Aufbau der Atomkerne und ihren Energieinhalt viel nachgedacht. Deshalb wußte die Fachwelt Ende 1938 auch sofort, daß die Uranspaltung eine ungeheure Freisetzung von Energie zur Folge haben mußte und daß dies der Schlüssel zur Gewinnung atomarer Energie war.

Die Energiemenge, die nach Einsteins Gleichung zu erwarten war, hatte selbst für Naturwissenschaftler ein ans Wunderbare grenzendes Ausmaß. Bei der Kernspaltung von einem Gramm Uran 235 werden etwa ein Tausendstel Gramm zerstrahlt und in Energie umgewandelt. In der Kerntechnik gilt die Faustregel, daß die Spaltung eines Gramms Uran 235 eine Wärmemenge von etwa 1 Megawatt-Tag (MWd) freisetzt. Ein Kernreaktor vom derzeit größten Typ, wie er im Kernkraftwerk Biblis mit einer Leistung von 1250 Megawatt arbeitet, zerstrahlt in einem Jahr – bei einer Benutzungszeit von siebentausend Stunden – 1,09 Kilogramm Kernbrennstoff, setzt sie in 1,14 Millionen Megawatt-Tage Wärmeenergie um und erzeugt damit elektrische Energie von 8,75 Milliarden Kilowattstunden (kWh). Die Leistungen, die aus solcher Kernzerstrahlung geholt werden können, sind in der Tat ungeheuerlich.

In den ersten Wochen des Jahres 1975 wurde die hundertste Fahrt der »Otto Hahn«, des deutschen Atomfrachters von 16900 BRT, gemeldet. Er hat seit seiner Indienststellung im Oktober 1968 etwa siebenunddreißig Kilogramm Uran 235 verbraucht, das entspricht einer Kohlenmenge von rund 260000 Tonnen. Das Schiff hat in dieser Zeit rund 380000 Seemeilen zurückgelegt.

Bei Atombomben wird in anderen Einheiten gerechnet. Ihre Zerstörungskraft wird mit der Menge Trinitrotoluol (TNT) verglichen, einem »normalen« Sprengstoff, welche die gleiche Sprengkraft besitzt. Nach dieser Rechnung entsprach die erste Atombombe auf Hiroshima der Wirkung von 20000 Tonnen TNT. Ihre

Uranmenge betrug ungefähr 50 Kilogramm, wovon nur etwa ein Kilogramm gespalten wurde. Dabei ging nur etwa ein Gramm Masse verloren.

Die größte Atombombe, die Wasserstoffbombe, welche die UdSSR 1961 überirdisch gezündet hat, entsprach bereits einer Sprengwirkung von 60 Megatonnen, das sind 60 Millionen Tonnen TNT.

### *»Nebenwirkungen« rund um die Welt*

Die Spaltung des Urans und die Gewinnung von Plutonium, des Kernbrennstoffs der Bombe von Nagasaki, haben an einigen Stellen der Erde im Gleichgewicht der natürlichen Isotopenverteilung grundsätzliche Veränderungen hervorgerufen, die nun gegeben sind und nie mehr rückgängig gemacht werden können. Die atomare Aufrüstung in den USA wie in den übrigen »Atomländern«, besonders in der UdSSR, aber auch in England, Frankreich und China, hat diese Veränderungen weithin vervielfacht.

Als der Franzose Antoine Henri Becquerel am 24. Februar 1896 im Uran die natürliche Radioaktivität entdeckte, gab es noch ein Isotopengleichgewicht, das sich seit Entstehung der Erde vor vier Milliarden Jahren eingependelt hatte. Aus der unterschiedlichen Halbwertszeit der Uranisotopen von 710 Millionen Jahren für U 235 und viereinhalb Milliarden Jahren für U 238 ergibt sich, daß vor diesen vier Milliarden Jahren U 235 und U 238 im natürlichen Uran etwa zu gleichen Teilen nebeneinander bestanden. Heute dagegen sind in diesem natürlichen Uran nur noch 0,7 Prozent U 235 vorhanden. Von diesem naturgegebenen Zustand scheint es nur wenige, vermutlich jedoch unbedeutende Ausnahmen zu geben.

Wie anläßlich der Reaktortagung des Deutschen Atomforum 1973 erstmals berichtet wurde, fanden 1972 französische Wissenschaftler in der Uranlagerstätte Oklo in Gabun, Zentralafrika, daß dort das natürliche Uran statt 0,7 nur 0,6 Prozent U 235 enthält. Die Wissenschaftler deuteten diese Beobachtung so, daß dort vor sehr langer Zeit aus unbekanntem Anlaß über einen Zeitraum von

etwa 100000 Jahren eine langsame Kernreaktion abgelaufen sein muß, die zur Verminderung des U-235-Anteils führte.

Gelegentlich der 4. Genfer Atomkonferenz 1971 teilte Glenn T. Seaborg, der Präsident der Konferenz, mit, daß das Oak Ridge National Laboratory in natürlichen Gesteinen das Plutonium-Isotop Pu 244 gefunden habe. Angesichts seiner sehr großen Halbwertszeit von $8 \cdot 10^7$ Jahren kann dies allerdings auch bei der Entstehung der Erde dort hineingekommen sein. Ähnliche natürliche Isotopenverhältnisse bestehen für die übrigen radioaktiven Elemente.

Seit die Kernspaltung betrieben wird, gibt es auf der Erde überraschend neue Isotopenverhältnisse und gänzlich neue, nämlich künstliche radioaktive Elemente. Nach unverbindlichen Schätzungen sind seit Kriegsende ca. 1000 Bombenexplosionen an den verschiedensten Stellen der Erde ausgelöst worden.

Das U 235 ist und wird noch heute in großen Mengen bis zu fast hundert Prozent angereichert. Tritium, das zur Vorbereitung der Wasserstoffbombe nötig ist und auch bei jeder Kernreaktion entsteht, hat eine Halbwertszeit von etwas über 12 Jahren. Es ist jetzt in unkontrollierbarer Menge vorhanden ebenso wie das Krypton mit einer Halbwertszeit von knapp 11 Jahren.

### *Das Plutonium muß weg*

Das gefährlichste unter den neuen radioaktiven Elementen ist jedoch das Plutonium, das es vorher in der Natur wohl nur wenig – wenn überhaupt – gegeben hat. Hunderte von Tonnen Pu 239 mit einer Halbwertszeit von 24000 Jahren lagern in Form von fertigen Bomben – weitere auch noch unverarbeitet – in vielen Teilen der Welt. Seine Menge wird überdies ständig größer. Das bedeutet, daß – auch dann, wenn von jetzt an kein weiteres Plutonium mehr hinzukäme – die heute vorhandene Menge bis auf Bruchteile erst in 240000 Jahren wieder verschwunden wäre. Es bleibt also nur die eine Lösung, dieses Plutonium wieder zu Brennelementen zu verarbeiten und in Reaktoren einzusetzen.

Beim Kernzerfall in den Reaktoren, in denen aus U 238 Pluto-

nium gebildet wird, entsteht darüber hinaus eine Vielzahl von Spaltprodukten, also von künstlichen Isotopen vieler bekannter Elemente, die mit unterschiedlicher Halbwertszeit irgendwo lagern und sich unter Aussendung radioaktiver Strahlung ständig verändern.

### *Der Krieg, ein schlechter Vater der Dinge*

In den Anfangsjahren der atomaren Rüstung und noch viele Jahre danach war die neue Energie keiner öffentlichen Kritik oder gar Kontrolle ausgesetzt. Die Geldmittel, die zur Verfügung standen, waren unbegrenzt. Die militärische Geheimhaltung schützte überdies damals – wie in einigen Ländern noch heute – vor öffentlichen Diskussionen und vor jeder Art Gegenwehr.

Über die Strahlung und die notwendigen Schutzmaßnahmen wußte man damals so viel, daß die Menschen in den Fabrikationsanlagen in ausreichendem Maß vor Schaden bewahrt werden konnten. Trotz der Gefahren, die – angesichts der rapiden Entwicklung und der beträchtlichen Zahl derer, die in den Anlagen direkt mit der Materie in Berührung kamen – doch ziemlich akut zu sein schienen, gab es nur wenige Unfälle im Zusammenhang mit der radioaktiven Strahlung.

Auch der Einsatz der Bombe selbst brachte in dieser Beziehung kaum Probleme. Sie mußte nur exakt ins Ziel gebracht werden. Unter militärischen Gesichtspunkten konnte die Gewalt der Explosion ja nicht groß genug sein. Und auch die entstehenden Spaltprodukte und deren lebensbedrohende Strahlung gehörten mit ins Kalkül der Vernichtung. Spätschäden dieser Art von »Abfällen« kennen wir bis heute in Japan. Aber im Krieg zählen nun einmal nur Zerstörung und Vernichtung von Menschen und Material. Er hat sich noch immer als schlechter Vater der Dinge entpuppt.

Bei der Gewinnung des Plutoniums aus den Brennelementen der Kernreaktoren, die zunächst ausschließlich für militärische Zwecke betrieben wurden, beschränkte man sich auf seine Isolierung und auf die Rückgewinnung des verbliebenen Urans. Die Lösungen mit den Spaltprodukten wurden viele Jahre lang in Stahlbehältern aufbewahrt. Die Frage der Entsorgung und der Endlagerung ist erst in den letzten zwei Jahrzehnten Gegenstand wirtschaftlicher und technischer Erwägungen geworden (s. S. 165).

Die Kernspaltung hat die Welt grundsätzlich verändert. Diese technische Revolution ist jedoch zuallererst von der militärischen Rüstung ausgegangen. Abrüstung aber, auch nur Rüstungsbeschränkung, ist trotz jahrzehntelanger Verhandlungen nicht abzusehen. Doch selbst wenn schon etwas in dieser Art vereinbart wäre, ja sogar wenn es zu einer totalen atomaren Abrüstung käme: Irgend etwas müßte dann mit der Fülle des bereits vorhandenen Atombombenmaterials geschehen. Das kann weder auf unserer Erde weiter so herumliegen noch kurzerhand ins Meer geworfen werden, wie frühe Pazifisten sich dies von Waffen jeder Art gewünscht haben, oder wie jetzt erörtert wird, ins Weltall geschossen werden. Das Problem der neu entstandenen Elemente und der veränderten Isotopengleichgewichte bleibt uns auf jeden Fall erhalten. Die atomaren Geister, die wir selber gerufen haben, werden wir in absehbarer Zeit nicht so einfach wieder los.

Mit anderen Worten: Angenommen, die friedliche Nutzung der Kernenergie würde rund um die Erde in Acht und Bann getan und wirklich restlos eingestellt. Das würde uns ganz einfach nichts mehr nützen. Der radioaktive Zerfall des längst aufgehäuften Kernwaffenmaterials wird sich über Jahrtausende hin fortsetzen und uns weit mehr gefährden, als es ein international geordneter Ausbau der friedlichen Nutzung je vermöchte.

Die Mengen an künstlichen Isotopen, die wir bisher geschaffen haben, mögen sogar noch gering sein im Vergleich zu den natürlichen Lagerstätten, von denen außerdem immer neue gefunden wer-

den und auch den Gesetzen des natürlichen Zerfalls unterliegen. Die künstlichen und die angereicherten Isotope lagern an vielen, meist auch noch geheimgehaltenen Plätzen der Erde. Amerikanische Anreicherungsanlagen leisten eine Trennarbeit von ca. 18000 jato. Das bedeutet, daß in den letzten 30 Jahren beträchtliche Mengen mit verändertem Isotopenverhältnis erzeugt worden sind. Ihre Mengen werden – allein unter strategischen Gesichtspunkten – ständig vergrößert, zumal sich zu den alten Atommächten ja immer neue gesellen, deren jede wieder ihren eigenen strategischen Ehrgeiz hat. Der atomare Sündenfall ist nun einmal geschehen – wir müssen zusehen, wie wir mit ihm fertig werden.

### *Die friedliche Nutzung kommt ins Gespräch*

Man muß doch wohl fragen, warum Kritik und Protest in Sachen Kernenergie sich heute so selten an die ursprüngliche, an die richtige Adresse wenden, nämlich an Militärs und Politiker. Sie haben diesen atomaren Sündenfall begangen, und sie lassen nicht locker, wo sie im strategischen Kalkül eine Chance sehen, das Kernwaffenarsenal fort und fort anzuhäufen und so die Gefahren ständig zu vergrößern. Allerdings hat sich bisher die Kritik gegen die militärische Seite der Atomkraft als ziemlich unwirksam erwiesen.

Darum auch sucht der Protest den Weg des viel geringeren Widerstandes und reibt sich an Kernkraftwerken, obwohl das mit ihnen verbundene Risiko ein verschwindendes Minimum dessen ausmacht, was allein in den gelagerten Kernwaffen für uns alle schlummert.

Als 1955 von den USA ausgehend die allgemeine Diskussion über die friedliche Verwendung der Kernenergie einsetzte, fanden auch die deutschen Wissenschaftler Zugang zu diesem Thema. Die Bundesrepublik Deutschland hat an der militärischen und politischen Entwicklung keinen Anteil gehabt. Das hat sicher dazu beigetragen, daß wir an diesen Fragenkomplex unbefangener herangehen konnten. In der Bundesrepublik lebten überdies noch einige von jenen Wissenschaftlern, welche die ersten Schritte miterlebt hatten,

ohne daß sie den dann eingeschlagenen Weg mitbestimmen konnten.

Jetzt plötzlich erhielt die Kernenergie mit all ihren industriellen Chancen im internationalen Gedankenaustausch große Publizität. Alsbald sorgten internationale Kontrollen dafür, daß die Kernbrennstoffe auf den zivilen Bereich beschränkt blieben. Seither auch wird in der ganzen Welt die Intensität radioaktiver Strahlungen wie ihre Ausbreitung ständig gemessen. Kernexplosionen können über riesige Entfernungen hinweg registriert werden. Kaum ein Staat ist noch in der Lage, Kernexperimente und kerntechnische Einrichtungen zu betreiben, ohne daß dies in aller Welt sofort auffallen würde.

Es ist nun einmal unser aller Schicksal geworden, daß die Atomkraft zuerst für Zwecke der Zerstörung gebraucht wurde. Es wäre ein verhängnisvoller Irrtum zu glauben, man könne diese Entwicklung bremsen oder gar auf ihren Nullpunkt zurückdrehen. Die Großmächte selbst haben den Rückzug auf die alten Bastionen abgeschnitten. Das Atomrüstungspotential wird das immerwährende Damoklesschwert über den Völkern der Erde bleiben.

Wir sollten aber auch weiterhin bestrebt sein, als friedliches Gegenstück die Kernenergie für eine bessere Qualität des Lebens aller Menschen zu nutzen. Vielleicht gelingt es uns auf diesem Umweg, wenigstens die Anwendung des Atomwaffenpotentials langsam aber sicher zu unterlaufen und damit die Idee weiterzuverfolgen, die Präsident Eisenhower in die Welt setzte, als er 1953 zur friedlichen Nutzung der Kernenergie aufrief.

# Kapitel 3
# IN GENF

Als die Deutschen im Jahre 1955 zur 1. Genfer Atomkonferenz gingen, hatten sie einen großen Vorteil. Was dort im Gepränge der internationalen Konferenz »Atoms for Peace« auf sie zukam, war für sie vollständig neu. Sie waren gänzlich unvoreingenommen und hinsichtlich der neuen Entwicklung im Grunde genommen auch unvorbereitet. Zur Delegation, die unter Leitung des Auswärtigen Amtes stand, gehörte der damals 76jährige Otto Hahn.

Jahre zuvor hatte Otto Hahn noch in Gefangenschaft in England gemeinsam mit seinen wissenschaftlichen Kollegen ungläubig die Nachricht im Rundfunk gehört, als in Hiroshima im August 1945 die erste Atombombe abgeworfen worden war. Die Engländer hatten insgeheim beobachtet, was die Deutschen wohl zu dieser die Welt bewegenden Wirkung sagen würden, die aus dem winzigen Experiment in Berlin-Dahlem entstanden war.

In demselben Landsitz in England hatte Otto Hahn die Meldung von der Verleihung seines eigenen Nobelpreises gelesen, den er dann 1947, noch immer unter englischer Bewachung, in Stockholm entgegennahm.

In einer gesunden Mischung von Bescheidenheit und goldenem Humor konnte er in Genf den Eindruck erwecken, als ob er von allem, was da gezeigt wurde, nichts verstünde. Er tat das mit viel Freude und Genugtuung. Auf dem amerikanischen Stand der internationalen Ausstellung fehlte sein Bild in der Reihe der berühmten Atomphysiker, die auf der Grundlage seiner Entdeckung in den

Vereinigten Staaten die Atombombe geschaffen hatten. Er selbst hat die Bedrückung niemals ganz überwunden, daß er Schuld und Verantwortung trüge an dem Entsetzen, das aus seinem bescheidenen Experiment über die Menschen gekommen war.

Mit ihm kamen viele andere deutsche Physiker. Sie hatten in den Kriegsjahren an den Arbeiten teilgenommen, die von den Machthabern des Dritten Reichs mit halbem Herzen gefördert, schließlich in der Nachbarschaft des Städtchens Haigerloch in Baden-Württemberg ihr Ende gefunden hatten.

Mit der deutschen Delegation erlebten in Genf mehr als hundert deutsche Wissenschaftler, Industrielle und Politiker die Selbstdarstellung einer Weltorganisation, der UNO. In den nach strengem Ritual ablaufenden Vollversammlungen waren die Deutschen, eingeordnet in alphabetischer Reihenfolge nach den englischen Ländernamen, zwar gleichberechtigt, nahmen aber doch nur zögernd in der Runde der Weltorganisation Platz. Die Bundesrepublik Deutschland war mit einigen anderen Nationen nicht einmal Mitglied der UNO. Wir erlebten die ersten Simultanübersetzungen in den Konferenzsprachen Englisch, Französisch, Russisch und Spanisch. Es war eine erste wirksame Lehre, daß die deutsche Sprache nicht darunter war, obwohl wir doch alle im stillen meinten, daß deutsche Wissenschaftler sehr viel für die Naturwissenschaft und erst recht für die Kernphysik geleistet hätten.

Am Abend gab es Empfänge in den Hotels von Genf, zu denen auch die Mitglieder der deutschen Delegation eingeladen wurden. Aber es entstanden Probleme des Protokolls, weil wir mit vielen Nationen, z.B. mit der Sowjetunion, noch keine diplomatischen Beziehungen hatten.

Wir waren noch Neulinge in diesem großzügigen internationalen Treiben, das sich auch mit seinem äußerlichen Wohlstand gänzlich von den bescheidenen Verhältnissen in dem soeben aus den Trümmern neu entstehenden Deutschland unterschied.

Die Pariser Verträge, die der jungen Bundesrepublik Deutschland mit der Souveränität wieder einen Platz in der Politik einräumten, waren erst im Frühjahr 1955 nach langen parlamentarischen

Diskussionen im Deutschen Bundestag mit nur einer kleinen Mehrheit ratifiziert worden. Die deutsche Delegation konnte solche Empfänge nicht geben. Zu Hause hütete der sparsame Finanzminister Fritz Schäffer das Geld. Wir gehörten in diesem Moment noch zu den kleinen, man kann wohl sagen allerkleinsten Nationen der Welt.

Trotzdem oder gerade deswegen waren für uns Deutsche diese Tage in Genf ein wundervolles Erlebnis. Im herrlichen Sommerwetter schmolz das Eis jahrzehntelanger Isolierung. Wir fanden unter den mehr als 1400 offiziellen Delegierten und vielen Hunderten von Teilnehmern nicht nur berühmte Namen, die wir aus der Presse und Literatur kannten. Von den ersten Auslandsreisen, die wir in der Nachkriegszeit schon hatten unternehmen können, gab es auch bereits gute Bekannte.

Es war ein großes internationales Ereignis, das der amerikanische Präsident durch seine Anregung ausgelöst hatte, ein großes Erlebnis auch für alle anderen teilnehmenden Nationen. Noch niemals war ein naturwissenschaftliches und technisches Arbeitsgebiet mit so großer Publizität der Welt präsentiert worden.

Am 1. November 1952 war auf einem kleinen Atoll im Stillen Ozean die erste amerikanische Wasserstoffbombe gezündet worden. Ihr folgte am 12. August 1953 die Zündung der ersten Wasserstoffbombe in der Sowjetunion. Damit hatte die Erregung in der Welt einen Höhepunkt erreicht.

Es war den Amerikanern nicht gelungen, ihr Atomgeheimnis mit all seinen technischen Voraussetzungen für sich zu behalten, nachdem schon im Kriege die ersten Voraussetzungen zur Atomrüstung durch Spionage an die Sowjetunion verraten wurden. Im Jahre 1953 aber war dem Wettrüsten mit all seinen entsetzlichen Konsequenzen keine Schranken mehr gesetzt. Die beiden Militärmächte verfügten über technische Mittel, mit denen sie die Welt zerstören konnten. Die Sowjetunion und Amerika standen sich im kalten Krieg gegenüber. Nach acht Jahren einer provisorischen Friedensordnung stand die Welt wieder vor einer der größten Krisen.

Die wohlgemeinte Rede, die der amerikanische Präsident Eisenhower am 8. Dezember 1953 vor der UNO hielt, hätte die Welt zu einem dauerhaften Frieden bewegen können. Viele hundert Milliarden Dollar hätten zum Wohle der Menschen gespart werden können, statt für ein uferloses Wettrüsten auf beiden Seiten ausgegeben zu werden. Dies ist nicht gelungen.

Für die friedliche Nutzung der Kernenergie aber waren die Erklärungen von Eisenhower von einmaliger Bedeutung. Die Rede des Präsidenten gipfelte damals in folgenden Vorschlägen:

1. »die weltweiten friedlichen Vorhaben zur Erforschung der nützlichsten Anwendung von spaltbarem Material zu ermutigen mit der Zusicherung, daß den Wissenschaftlern das gesamte Material zur Durchführung dieser Versuche zur Verfügung steht, die diesem Rahmen angemessen sind;
2. mit dem Abbau des Vernichtungspotentials der atomaren Vorräte in der Welt zu beginnen;
3. allen Völkern aller Nationen in diesem aufgeklärten Zeitalter deutlich zu machen, daß die großen Mächte dieser Erde, ob im Osten oder Westen, eher an den menschlichen Sehnsüchten Interesse nehmen als an dem Aufbau eines Waffenarsenals für den Krieg;
4. friedlichen Diskussionen einen neuen Weg zu eröffnen und zumindest den Versuch einer neuen Annäherung an die schwierigen Probleme zu finden, die sowohl in Geheimgesprächen als auch in der Weltöffentlichkeit gelöst werden müssen, wenn die Welt den ihr auferlegten Fluch abschütteln und positive Schritte zum Frieden machen soll.«

Solche Worte der Versöhnlichkeit hatte man nach dem 1. Weltkrieg auch gehört. Neu aber und bedeutsam in diesem Zeitpunkt war der Vorschlag zu ehrlicher Zusammenarbeit auf einem wichtigen naturwissenschaftlich-technischem Gebiet.

Der Teil des Appells, der an die Atommächte gerichtet war, um sie zu einer Abrüstung zu bewegen, ging bis heute nicht in Erfüllung. Mühsam schleppen sich die Verhandlungen über Rüstungsbegrenzungen hin. Von Abrüstung ist überhaupt kaum die Rede.

Frankreich und China sind als neue Atommächte hinzugekommen.

Um so positiver aber wurde von der ganzen Welt all das aufgenommen, was der friedlichen Nutzung der Kernenergie dienen konnte. Es war auch zum ersten Mal in der etwa 150 Jahre dauernden Geschichte der exakten Naturwissenschaften, daß zu einer solchen Weltkonferenz aufgerufen wurde. Resonanz und Beteiligung waren gewaltig.

Bis zu diesem Zeitpunkt hatte die Welt nur den Schrecken der Atombombe kennengelernt. Die wenigsten der 73 Nationen, die nach Genf kamen, hatten wohl überhaupt eine Vorstellung von den wissenschaftlichen und technischen Grundlagen, die zu der Atombombe geführt hatten. Grund dafür war erstens die militärische Geheimhaltung; zweitens und noch gewichtiger für viele Teilnehmer die Tatsache, daß die Kernphysik mit ihren Fortschritten noch einem großen Teil der Menschen vollständig unbekannt war.

In den wenigen Jahren nach Ende des Krieges hatte ein großer Teil der Menschheit den Weg aus der dumpfen Welt des Kolonialismus in den Bereich einer neuzeitlichen Wirklichkeit angetreten. So war der Hunger nach Wissen ungeheuer groß. Er traf zusammen mit der Sehnsucht nach einem Blick in eine freie Welt, die es seit nahezu 50 Jahren für viele Menschen nicht mehr gegeben hatte.

Die großartige Tagung im alten Völkerbundpalast lief unter dem Vorsitz des Inders Bhabha ab wie eine prachtvolle Revue, in der die Deutschen nur Zuhörer waren, gemeinsam auf den Bänken mit den einzelnen Delegationen von Weißen und Farbigen aller Rassen. Es war eine eigenartige und einmalige Atmosphäre. Eigenartig war die Regie, die in den großen Hauptquartieren der Amerikaner und der Russen wohl jeden Morgen vorbereitet wurde, ebenso wie sich auch die Deutschen in ihrer bescheidenen Herberge am Bahnhof jeden Morgen unter Leitung des Botschafters Dr. Carl Friedrich Ophüls zur Ausgabe der Tagesparole versammelten.

Zug um Zug, oft in gegenseitiger Überbietung, entwickelten die bisherigen Atommächte in Genf vor der staunenden Weltöffentlichkeit die Grundlagen der Kerntechnik, die sie in den vorausge-

gangenen eineinhalb Jahrzehnten erarbeitet hatten. Mehr als die physikalischen Grundlagen der Physik waren es die technischen Probleme, die nun in wohldosierten Gaben in Gestalt von Hunderten sogenannter Papers sowie in Vorträgen dargeboten wurden. Das geschah, wie wir alle empfanden, nach einem wohlvorbereiteten Plan, den die Leiter der staatlichen Atomkommissionen fest in ihren Händen hielten.

Die Amerikaner hatten schon zu Beginn verkündet, daß sie der Welt für Forschungszwecke 5000 kg angereichertes Uran 235 zur Verfügung stellen würden, das unter der Kontrolle einer während der Genfer Tage beschlossenen internationalen Behörde, der IAEO in Wien, verteilt und verwendet werden sollte.

In jahrzehntelanger Aufbauarbeit entstand aus dieser Behörde unter der Leitung des im Herbst 1977 zum vierten Mal zum Generaldirektor wiedergewählten Schweden Sven Eklund eine Weltorganisation, der heute die Obhut über die friedliche Verwendung der Kernenergie gemäß dem Nonproliferation-Vertrag übertragen worden ist.

Großbritannien und Kanada, die im Krieg mit den Amerikanern zusammengearbeitet hatten, konnten gleichfalls viel Interessantes vortragen. Die Russen blieben zurückhaltend und verschlossen, aber sie brachten sehr stolz zum Ausdruck, daß sie wohl ebensoviel von diesem technischen Geheimnis wußten. Alle anderen Teilnehmer aber waren mehr oder weniger Zuhörer.

Wir Deutsche folgten dem, was geboten wurde, mit größter Aufmerksamkeit. Kaum ein Vortrag wurde ausgelassen. An den sommerlichen Ufern des Genfer Sees entwickelte sich ein freundschaftlicher Meinungsaustausch all der verschiedenartigen Menschen, die vorher wohl nie in solcher Zusammensetzung an einer Tagung teilgenommen hatten. Diese Gemeinsamkeit der Unbefangenheit hat dem Start der Kernenergie in Deutschland gleich zu Beginn einen Impuls gegeben, der lange Jahre anhielt, und vielleicht eines der Geheimnisse des deutschen Erfolges in der Kerntechnik ist.

Es waren zahlreiche deutsche Wissenschaftler vertreten, die schon alte Verbindungen zur internationalen Kernforschung besa-

ßen oder neue anknüpften und nun über Pläne diskutierten, wie und mit welchem Einsatz sie wieder einen Beitrag zur Entwicklung der Kernforschung leisten könnten. Zu ihnen gesellten sich die maßgebenden Repräsentanten der Industrie und viele Politiker, die beobachten konnten und sollten, welch bedeutende Rolle die uns gänzlich neue Kernenergie im In- und Ausland einnehmen müßte, und wie diese Entwicklung zu steuern sei.

Das vollständig Neue in Genf war für uns das Interesse der Journalisten. Sie sahen zum ersten Mal in eindrucksvoller und anschaulicher Weise den Einfluß einer großen, kaum verstandenen naturwissenschaftlichen Entwicklung auf die politischen, wirtschaftlichen und technischen Grundfragen unserer Gesellschaft. Seither besteht bei uns in Deutschland ein öffentlich diskutiertes Interesse an der Kernenergie, das dann auch auf andere naturwissenschaftliche Fragen überging. Die Presse begleitete mit großem Eifer und mit bohrenden Fragen alles, was in Genf geboten wurde. Die Journalisten diskutierten mit rückhaltloser Offenheit den deutschen Rückstand auf diesem Gebiet und ließen von nun an nicht ab mit Fragen darüber, ob und was wir unternehmen wollten, diesen Rückstand aufzuholen.

Für deutsche Verhältnisse waren solche öffentlichen Diskussionen wissenschaftlicher Ergebnisse und Möglichkeiten neu und ungewohnt. Viele von uns empfanden die Fragen, die in Genf auf uns einströmten, und die Antworten, die wir nur schwer fanden, als lästig. Wir gewöhnten uns erst langsam daran, auch Zweifel, die uns bewegten, zum Ausdruck zu bringen. Die Wissenschaft mußte sich ebenso wie die Wirtschaft erst daran gewöhnen, daß nur mit rückhaltloser Information der Öffentlichkeit, wie das in den Vereinigten Staaten von Amerika von jeher üblich war, Ziele und Ergebnisse der Forschung in der Bevölkerung verstanden werden. Diese Informationen sollten auch dann, wenn man sich selbst noch nicht ganz klar über einzelne Probleme war, gegeben werden. Heute ist diese Offenheit gegenüber den Medien eine selbstverständliche Verpflichtung, die das allgemeine Verständnis für große naturwissenschaftliche Aufgaben sehr gefördert hat.

Aber auch für die USA und die anderen Industrienationen war das, was in Genf berichtet und diskutiert wurde, eine Sensation, welche die Öffentlichkeit erregte. Noch niemals zuvor war der Schleier vor den streng geheimgehaltenen Atomkenntnissen gelüftet worden, die jetzt – wenigstens teilweise – Gegenstand internationaler Aktivitäten im Bereich der friedlichen Entwicklung werden sollten.

Diese nun beginnende Publizität hat der Kernenergieentwicklung gerade in Deutschland bei ihrem Start sehr gut getan. Sie war fördernd in ihrer zwingenden, voraussetzungslosen Art für alle, die jetzt handeln mußten. Das galt für den Staat, für die Wissenschaft und natürlich auch für die Industrie.

Die Offenlegung aller, zuweilen noch nicht zu Ende gedachter Pläne und Überlegungen hatte zunächst einmal große Vorteile. Die Öffentlichkeit brachte von jetzt ab mehr Verständnis dafür auf, wenn aus Steuermitteln erhebliche Summen für naturwissenschaftliche und technische Vorhaben aufgewendet werden mußten. Diese Aufgeschlossenheit übertrug sich auch über das Gebiet der Kernenergie hinaus auf andere naturwissenschaftliche und technische Bereiche.

Selbstverständlich lagen in dieser Publizität auch Probleme und Nachteile. Nicht, daß man Sorge haben mußte vor einer allzu frühzeitigen Preisgabe von Geheimnissen.

Dagegen konnte das geltende Recht, vor allen Dingen die Patentgesetzgebung, Schutz bieten. Es bestand und besteht vielmehr die Gefahr, daß ein allzu früh und mit zuwenig Sachkenntnis publiziertes Urteil Entscheidungen vorwegnimmt und eine sachliche Stellungnahme erschwert.

Daß es heute gerade im Bereich der Nutzung der Kernenergie oft schwierig ist, notwendige Beschlüsse zu fassen, liegt auch daran, daß dank dieser Publizität nun jeder glaubt, sachverständig urteilen zu können.

Bei allem Bedürfnis nach Information, das die Öffentlichkeit verständlicherweise hat, muß es immer dabei bleiben, daß Entscheidungen in den rechtlich zuständigen Gremien gefällt werden und

schließlich in gesetzgeberischen Maßnahmen ihre Bestätigung finden.

Damals, 1955, war es der Start in eine Welt, die noch kaum verstanden wurde, die sich aus der Dunkelheit einer ständig drohenden Gefahr im militärischen Raum, wo sie uns nicht zugänglich war, nunmehr zu einer konkreten Aufgabe entwickelte. Die Deutschen erkannten, daß hier ein Problem ihrer Zukunft bewältigt werden mußte, und stellten die Frage, ob es noch Zeit und Möglichkeiten gäbe, Verlorenes und Entgangenes nachzuholen.

Das Urteil, das sich in diesen Tagen unter den deutschen Teilnehmern in Genf herausbildete, war tröstlicher, als es erwartet wurde. Es war im Grunde genommen sogar recht optimistisch bei dem Abwägen eigener Möglichkeiten.

Die deutsche Industrie stand mitten in der Phase des Wiederaufbaus. Viele Arbeitsgebiete wie Flugzeugbau und Raketenforschung waren ihr verschlossen. Die Einschränkungen, die von den Kontrollbehörden bei Kriegsende zum Beispiel in der chemischen Industrie verfügt wurden, waren erst mit den Pariser Verträgen gefallen. Die Fortsetzung dieses industriellen Aufbaus stieß gerade zu diesem Zeitpunkt auf eine enge, im Augenblick nicht überwindbare Barriere: die Energieversorgung.

In der Hauptversammlung der soeben aus der Kontrolle entlassenen Farbwerke Hoechst AG am 28. Juni 1955 erklärte der Verfasser:

»Wir möchten an dieser Stelle auch darauf hinweisen, daß als zweite neue Sorge die Versorgung unserer Werke mit Kohle bzw. allgemein mit Brennstoffen sich abzeichnet. Schon jetzt sind wir gezwungen, im großen Maße amerikanische Kohle zu hohen Preisen einzuführen, während deutsche Kohle zu billigem Preis mehr als bisher exportiert werden muß. Eine widerspruchsvollere Situation ist kaum denkbar. Abgesehen von der Preissituation wäre es für die chemische Industrie ein schwerer Schlag, wenn sie in die Lage käme, ihre mit teurem Geld erbauten Erweiterungen, nach deren Produkten stärkste Nachfrage besteht, wegen Brennstoffmangels nicht voll betreiben zu können. Es müßte in größerem Maße als bisher das In-

teresse des deutschen Bergbaus sein, die Kohleversorgung der deutschen Industrie sicherzustellen, schon um sich selbst dagegen zu schützen, daß diese zu anderen Versorgungsmöglichkeiten greift. Wir möchten eine Entwicklung des Kohlenvertriebs befürworten, die es uns ermöglicht, unsere Versorgung in langfristigen Verträgen mit unserem Partner zu sichern.«

Und später, am 1. Juni 1956, wiederum in einer Hauptversammlung:

»Es scheint zur Zeit so, daß Kohle und Strom als Rohstoff für die chemische Industrie nicht mehr zu vertretbaren Preisen in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen oder zum mindesten dem Wachstum der chemischen Industrie nicht mehr folgen können.«

Der Bundesrepublik Deutschland waren durch die Folgen des 2. Weltkrieges die großen Steinkohlenvorräte Schlesiens verlorengegangen. Auf dem Bergbau an der Ruhr lasteten drückende Exportverpflichtungen. Auch ein großer Teil der Braunkohlenvorräte lag nunmehr in der DDR. Eine breite internationale Versorgung mit Erdöl war damals noch nicht sichtbar. So wog man die neuen Möglichkeiten mit Interesse ab und hatte ein offenes Ohr für jede neue Lösung.

Zu den Zielen von Präsident Eisenhower gehörte auch, daß die Kernenergie mehr und mehr privatisiert wurde. Die amerikanische Industrie war vorher zwar zu den großen technischen Aufgaben herangezogen worden, die im Rahmen des militärischen Einsatzes gelöst werden mußten, sie hatte aber diese Arbeiten unter strenger Aufsicht der Atombehörde ausgeführt, die den gesamten Einsatz leitete. Im Februar 1975 wurde die amerikanische Atomkommission (USAEC) aufgelöst und ihre Aufgaben an die neugegründete Energy Research and Development Administration (ERDA) übertragen. Bis heute wurde in den USA eine strenge Geheimhaltungsgrenze beibehalten. Jede Frage, die sich von außen stellte, wurde in »classified« oder »nonclassified« eingeteilt. Zwischen beiden Bereichen lag und liegt der undurchdringliche Vorhang des militärischen Geheimnisses.

Die Kernbrennstoffe, d.h. die Urananreicherung und die Rück-

führung des Plutoniums aus Kernreaktoren, unterliegen bis heute strenger staatlicher Verfügungsberechtigung.

Der deutschen Entwicklung hat es sehr genutzt, daß sie selbst diesen Hemmungen, die bei militärischem Einsatz notwendig sind, nicht unterworfen war. Fern jeder Geheimhaltung konnten von Beginn an in der Bundesrepublik Deutschland alle Pläne und Maßnahmen öffentlich diskutiert werden.

Bei näherer Betrachtung war damals in Genf die friedliche Nutzung der Kernenergie noch nicht sehr weit fortgeschritten. Es gab zwar interessante Aussichten, und im Hinblick auf die Energieversorgung für die Chemie, die Medizin und die Landwirtschaft schienen die Möglichkeiten nahezu unbegrenzt. Aber für die eigentliche Konstruktion und Errichtung von Kernkraftwerken hatten die Vereinigten Staaten von Amerika noch nicht allzuviel vollbracht. Ihre Pläne liefen darauf hinaus, innerhalb der nächsten fünf Jahre, also von 1955 bis 1960, mindestens 10 Kernkraftwerke mit Leistungen von je etwa 200 MW zu errichten. Man hatte in den Vereinigten Staaten keine unmittelbaren Energieprobleme und konnte sich deswegen für langfristige kritische Wirtschaftlichkeitsüberlegungen Zeit lassen. Man arbeitete an Typen, die hochgezüchteter waren als das, was damals im Bereich der technischen Möglichkeiten lag. Dazu gehörten die Leichtwasserreaktoren und auch schon die Schnellen Brüter.

Ganz anders dagegen war 1955 die Situation in Großbritannien. Die Briten wollten sowohl aus militärischen Gründen, vor allem aber aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, schnell in den Besitz von Kernreaktoren kommen. Sie forcierten ihre Calder-Hall-Graphitreaktoren (s. S. 123), von denen man ohne große Risiken schnell größere Mengen Elektrizität, aber auch Plutonium erwarten konnte. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß die Briten zwar intensiv an der Atombombe mitgearbeitet hatten, daß ihnen aber die Errichtung kerntechnischer Einrichtungen wegen der geographischen Lage während des Krieges versagt geblieben war. Der erste Calder-Hall-Reaktor, der in allen Einzelheiten in Genf mit gewissem Stolz gezeigt wurde, kam schon im Jahre 1956 in Be-

trieb. Die Sorge, daß solche Typen nach einigen Jahren schon wieder veraltet sein würden, drückte die Engländer ebensowenig wie die Franzosen, die ebenfalls erst 1955 ihre ersten vorsichtigen Schritte unternahmen.

Die deutschen Wissenschaftler und Industriellen prüften in Genf sehr aufmerksam die Richtigkeit der ersten Überlegungen, die sie in den Monaten vorher angestellt hatten. In dem Maße, wie die Pariser Verträge mit dem Wegfall aller politischen und wirtschaftlichen Einschränkungen Realität wurden, hat sich Bundeskanzler Adenauer frühzeitig für die Atomenergie interessiert. Er nahm in diesem Zusammenhang Verbindung mit dem Göttinger Max-Planck-Institut auf, in dem unter Führung von Werner Heisenberg viele Wissenschaftler tätig waren, die an der Reaktorentwicklung im Kriege mitgearbeitet hatten. Dort in Göttingen konnten – nach der Rückkehr aus der Gefangenschaft – die Bemühungen um einen Reaktor nicht fortgesetzt werden, aber an den wissenschaftlichen Grundlagen der Kernphysik war selbstverständlich weitergearbeitet worden.

Schon in den Jahren von 1952–1954 hat Bundeskanzler Adenauer während der Verhandlungen über die europäische Verteidigungsgemeinschaft, die dann scheiterten, den Wunsch geäußert, einen 500-Kilowatt-Atomreaktor errichten zu dürfen.

Warum Adenauer, der sonst kein sehr großes naturwissenschaftliches Interesse zeigte, sich dafür einsetzte, ist niemals klargeworden. Vielleicht hatte er auch daran gedacht, an einer europäischen Verteidigung durch eigene Beiträge mitarbeiten zu können. Diejenigen, die sich in der Bundesrepublik dann um die Nutzung der Kernenergie wirklich bemühten, lehnten jedoch jede militärische Zielsetzung ab. Eine militärische Zielsetzung hätte auch ganz andere Maßnahmen erfordert, als sie dann ergriffen wurden.

Um so überraschender kam sehr viel später – im Jahre 1957 – der Schritt der 18 führenden Atomwissenschaftler mit der sogenannten »Göttinger Erklärung«. Dieses Manifest enthielt die Verpflichtung und die feierliche Versicherung, daß man sich niemals an

der Vorbereitung einer militärischen Nutzung beteiligen würde, vor der man im übrigen das deutsche Volk mit Nachdruck warnte. Vielleicht hat es die öffentliche Meinung in Deutschland beruhigt, daß solche Warnungen noch einmal mit großem Ernst ausgesprochen wurden.

Denjenigen, die 1955 die friedliche Nutzung der Kernenergie in die Hand nahmen, ist niemals etwas bekannt geworden, was in die Richtung eines militärischen Mißbrauchs hätte hinzielen können. Es würde sich wohl auch niemand daran beteiligt haben. Der Eindruck des Zusammenbruchs lastete zu schwer auf allen denjenigen, die sich damals für das Schicksal Deutschlands verantwortlich fühlten. Es war und blieb bis heute die Stärke der deutschen Bemühungen, daß sie von solchen Plänen nicht belastet war.

Die deutsche Aktivität, soweit sie technische und wirtschaftliche Konsequenzen hatte, begann Ende 1954 nach der Unterzeichnung der Pariser Verträge. Auf Veranlassung des damaligen Wirtschaftsministers Ludwig Erhard war nach umfangreichen Vorgesprächen am 8. November 1954 die Physikalische Studiengesellschaft gegründet worden, an der sich 16 deutsche Firmen mit einem Kapital von zunächst je 100000 DM beteiligten. In den Satzungen dieser Gesellschaft hieß es: »Die Gesellschaft verfolgt ausschließlich und unmittelbar den Zweck, die wissenschaftlichen Arbeiten für die friedliche Anwendung der Kernphysik zu fördern.«

In dem wissenschaftlichen und technischen Beirat dieser Gesellschaft wurde als erster praktischer Schritt die Errichtung eines Kernreaktors eigener Konstruktion und eigener Fertigung erwogen. Man stützte sich auf Vorarbeiten, die Karl Wirtz im Göttinger Institut von Werner Heisenberg ausgeführt hatte und die nun durch Mitwirkung von Technikern aus den Kreisen der beteiligten Firmen verstärkt wurden.

Was wir in Genf sahen, bestärkte uns in dem Eindruck, daß dieser Plan richtig war. Die deutsche Industrie brauchte eine praktische Aufgabe, an der zahlreiche technische Probleme in Angriff genommen werden konnten. Es ging dabei um viele Probleme, die der an hohes Fertigungsniveau gewöhnten deutschen Industrie vollständig

fremd waren. Sie hätte diese niemals so erfolgreich lösen können, wenn einfach ein betriebsfertiger Reaktor bestellt worden wäre.

In Betracht gezogen wurde von Beginn an ein auf Natururan basierender Reaktor mit einer thermischen Leistung von ca. 5000 kW. Diese Einheit war groß genug, um an ihr in technischen Dimensionen alles Wesentliche zu erlernen. Ihre Leistung war deutlich größer als die aller Forschungsreaktoren, die damals angeboten wurden.

Noch in Genf konnte dieser Plan eines Eigenbaus mit internationalen Kongreßteilnehmern diskutiert werden. Das Vorhaben wurde stark beachtet.

Durch Vermittlung von W. A. Menne – damals Präsident des Verbandes der Chemischen Industrie und Vorstandsmitglied der Hoechst AG – konnte der Verfasser, der als Vertreter der Physikalischen Studiengesellschaft zur offiziellen Delegation gehörte, den Leiter der amerikanischen Atomkommission, Admiral Strauss, sprechen.

Die Möglichkeiten einer amerikanisch-deutschen Zusammenarbeit über bilaterale Verträge schienen zu dieser Zeit noch recht gering. In diesem Gespräch ergab sich, daß die USA mit vielen Nationen einen Sondervertrag abgeschlossen hatten, der diesen Nationen auf der Basis von 6 kg leihweise überlassenem Uran 235 den Erwerb eines Forschungsreaktors ermöglichte. Daß ein solcher Vertragsentwurf auch im deutschen Auswärtigen Amt seit Monaten vorlag, wurde jetzt durch Admiral Strauss bekannt.

Wir erfuhren aber auch, daß die USA bezüglich ihrer Bereitwilligkeit zur Zusammenarbeit mit anderen Nationen grundsätzliche Unterschiede machten. Zum engeren Kreis der Vertrauten gehörten danach Belgien, Großbritannien und Kanada. Deutschland gegenüber war man noch recht skeptisch. Schon damals gab es die Idee, ähnlich der Montanunion, eine Atomgemeinschaft in Europa zu schaffen, mit deren Hilfe sich die deutschen Aktivitäten besser überwachen lassen würden.

Als Resümee dieser Information konnten wir festhalten, daß für Deutschland zwar die Möglichkeiten bestanden, im Rahmen eines derartigen Standardvertrages Forschungsreaktoren etwa nach Art

des sogenannten Schwimmbadreaktors in Amerika zu kaufen, von denen einer in Genf ausgestellt war. Einen größeren Leistungsreaktor aber würden wir in absehbarer Zeit nicht erwerben können. Auch die Möglichkeit, angereichertes Uran (s. S. 91) für einen Eigenbau im erforderlichen Ausmaß zu erhalten, schien verhältnismäßig aussichtslos.

So war es selbstverständlich, daß der erste selbstgebaute Reaktor Natururan als Kernbrennstoff enthalten mußte. Als Moderator sollte Schweres Wasser dienen, das wir selbst herstellen konnten. Dies war der Weg, den auch die Kanadier aus ähnlichen Überlegungen beschritten hatten. Kanada hat übrigens später bei der Überprüfung der deutschen Pläne in bereitwilligster Form Hilfe geleistet.

Die Frage des Eigenbaus war damals in Genf kaum noch strittig. Die Bereitwilligkeit zu finanziellen Opfern war groß. 92 Firmen schlossen sich im Juni 1956 zu einer »Kernreaktor-Finanzierungsgesellschaft« zusammen. Das Anfangskapital betrug 15 Millionen DM. Weitere 15 Millionen DM wurden zu 60% vom Bund und zu 40% vom Land Baden-Württemberg aufgebracht. Mit diesem Beteiligungsverhältnis, also 50% Industrie, 30% Bund und 20% Baden-Württemberg, wurde dann die »Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe« gegründet, welche die Trägerschaft und die Betriebsführung des selbstgebauten Reaktors FR 2 übernehmen sollte. Auf diese Weise entstand die Keimzelle des Kernforschungszentrums Karlsruhe.

Damals war das Interesse der Bundesländer anders gelagert als heute. Es gab mehrere Angebote für den Standort des FR 2. Die Entscheidung wurde schließlich durch den Bundeskanzler zugunsten von Karlsruhe gefällt. Die Geldmittel der Gesellschaft mußten später verdoppelt werden. Schließlich übertrug die Industrie ihren Anteil im Wege der Schenkung an den Staat, nachdem die Kosten für die Weiterentwicklung des Kernforschungszentrums in Karlsruhe zu groß wurden. Der Reaktor in Karlsruhe wurde am 7. März 1961 kritisch. Der erste vorsichtige Schritt einer Eigenentwicklung erwies sich als ein voller Erfolg. Die Industrie hatte viel gelernt, und

der Reaktor stand nun für vielseitige Forschungsaufgaben zur Verfügung. Später wurde seine thermische Leistung durch den Umbau des Cores unter Verwendung von angereichertem Uran auf ca. 40000 kW erhöht, was einer elektrischen Leistung von 12000 kW entspricht, die allerdings in diesem Falle nicht genutzt wird.

Zu den Aktivitäten in Genf gehörte auch die Grundsteinlegung zu der Forschungsstelle CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), deren Gründung auf die OECD zurückgeht. CERN ist heute mit anderen großen Zentren ähnlicher Art der internationale Treffpunkt der Hochenergiephysik, die unter Überwindung vieler nationaler Schranken in allen Teilen der Welt nach neu begründeten Regeln auf diesem Gebiet zusammenarbeiten.

Die 1. Atomkonferenz in Genf war ein glänzender Auftakt für die nun in aller Welt einsetzende friedliche Aktivität. Auch die späteren Atomkonferenzen gleichen Stils in den Jahren 1958, 1964 und 1971 wurden Meilensteine internationaler Zusammenarbeit auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung, wenn auch niemals mehr mit der gleichen Aktualität wie 1955. Die jetzt im Sommer 1977 abgehaltene Konferenz in Salzburg hatte mit anderen Schwierigkeiten zu kämpfen. Nunmehr gibt es auch in diesem internationalen Rahmen ernstliche Diskussionen über die Durchführbarkeit der Reaktorprogramme. Probleme wie die Ausbreitung von Plutonium und die Entwicklung der Schnellen Brüter standen im Mittelpunkt der Diskussion.

Aber noch in einem ganz anderen Sinn war dieses Genf 1955 ein Meilenstein in der Geschichte von Naturwissenschaft und Technik. Nun hatte die Welt Gefallen gefunden am internationalen Gedankenaustausch auf Arbeitsgebieten, die mit ihren exakten Definitionen besser zur internationalen Verständigung geeignet waren als politische und weltanschauliche Probleme der verschiedensten Art.

Auf Betreiben der UNO wurde im Jahre 1957 ein erstes »Internationales Geophysikalisches Jahr« ins Leben gerufen. Man wollte von jetzt ab die Probleme des Weltraums freundschaftlich miteinander bearbeiten. Fragen der Wetterforschung, der Ausbreitung der

Radioaktivität und schließlich auch der Meereskunde gingen schon von ihrer Lösungsmöglichkeit her weit über jeden nationalen Rahmen hinaus.

Sozusagen als Auftakt dieses Geophysikalischen Jahres schickte die UdSSR am 4. Oktober 1957 mit Sputnik 1 den ersten künstlichen Satelliten in eine Erdumlaufbahn. Die winzige Kugel von rd. 30 cm Durchmesser und einem Gewicht von ca. 85 kg sendete ihre aufregenden Piepsignale zum ersten Mal aus dem Weltraum zur Erde. Am 31. Januar 1958 gelang es den USA, mit einem sehr viel kleineren Satelliten, dem Explorer 1, nachzuziehen.

Diese Ereignisse hatten für die beiden Supermächte große militärische Bedeutung. Der Weltöffentlichkeit aber wurde von jetzt ab, ohne daß man sie davon ausschließen konnte, das immer weiter fortschreitende Schauspiel der Weltraumfahrt geboten, das am 21. Juli 1969 mit der Landung der beiden Amerikaner Neil A. Armstrong und Edwin E. Aldrin jr. auf dem Mond seinen ersten Höhepunkt erreichte. Damit war ein Traum Wirklichkeit geworden, der die Menschheit seit langem bewegt hatte.

Die USA verstanden es, hier das militärische Interesse vollständig von der friedlichen Raumfahrt zu trennen. Selbstverständlich war und blieb die Problematik in vieler Beziehung für beide Zielsetzungen die gleiche. Aber die Starts und Landungen der Gemini- und Apolloflüge wurden der Weltöffentlichkeit zugänglich gemacht. Wer das geeignete Instrumentarium dafür hatte, konnte von seinem Heimatort den Verlauf der Flüge beobachten. Die NASA, von John F. Kennedy mit der Aufgabe der Mondlandung beauftragt, gewährte ungewöhnlich viel Einblick in das, was sie beabsichtigte und was sie ausführte.

So wurde das Apolloprogramm tatsächlich zu einer volkstümlichen öffentlichen Aufgabe, an der weite Teile der Menschheit teilnahmen. Es war ein Erlebnis für den Verfasser, daß er ohne große Legitimation im Oktober 1965 durch Vermittlung eines Freundes aus Peenemünde mit seinen Söhnen den inzwischen verstorbenen Wernher von Braun in Huntsville, Alabama, besuchen durfte, um nach einem nicht ganz gelungenen Gemini-Start die gewaltigen Ra-

ketentriebwerke auf dem Prüfstand zu sehen. Die Raketen sind seitdem noch sehr viel größer und vor allen Dingen bedrohlicher geworden. Aber am 17. Juli 1975 trafen sich amerikanische und russische Weltraumfahrer zu einem beispiellosen Rendezvousmanöver im Weltraum und koppelten ihre Fahrzeuge aneinander. Vielleicht ist das ein hoffnungsvolles Zeichen dafür, daß letzten Endes der Wille zur Verständigung stärker bleibt als alle Kräfte der Zerstörung.

Die erste große Manifestation dieses Willens zur Verständigung erfolgte 1955 in Genf.

# Kapitel 4
# STATIONEN DER DEUTSCHEN ATOMPOLITIK

Im Oktober 1977 fand in Darmstadt in Anwesenheit von Bundesminister Matthöfer die Einweihung des Schwerionenbeschleunigers statt, der nach Ideen und unter Leitung von Christoph Schmelzer, Heidelberg, errichtet worden ist. Zu Beginn des Jahres 1977 war in CERN bei Genf die Inbetriebnahme des großen, lange Zeit sehr umstrittenen Protonenbeschleunigers erfolgt.

Wer Gelegenheit hat, diese Anlagen zu besuchen, erhält immer wieder einen tiefen Eindruck von dem kollegialen und weltoffenen Geist der Zusammenarbeit, der hier und in ähnlichen nationalen und internationalen Zentren herrscht.

Das dort erreichte Ziel einer über die Grenzen nationaler und machtpolitischer Räume hinwegreichenden Forschungsgemeinschaft steht in wohltuendem Gegensatz zu all den unerfreulichen Diskussionen, die besonders in der Bundesrepublik Deutschland die friedliche Nutzung der Kernenergie zum Zankapfel unseres öffentlichen Lebens werden ließen.

Die gegenwärtigen Auseinandersetzungen um die Kernenergie stehen im krassen Gegensatz zu der Welle von Tatkraft und Optimismus, die 1955 alle Kreise der Bevölkerung in Deutschland erfaßte. Die Halbherzigkeit, mit der die Atompolitik heute betrieben wird, steht auch in totalem Widerspruch zu der Bedeutung, die ihr damals schon beigemessen wurde und die heute erst recht zu einer Frage des wirtschaftlichen Überlebens einer energieintensiven Gesellschaft geworden ist.

Unmittelbar nach der Genfer Atomkonferenz 1955 berief Bundeskanzler Adenauer, der sich um dieses Gebiet ständig und noch lange Zeit später persönlich kümmerte, den bisherigen Sonderminister Franz Josef Strauß in das neugeschaffene Atomministerium. Anschließend wurde durch Beschluß der Bundesregierung eine Deutsche Atomkommission gegründet. Gründung und Zusammensetzung dieser Kommission entsprachen dem liberalen und demokratischen Geist, der das Leben in der jungen Bundesrepublik bestimmte.

Es war nicht an eine staatliche Behörde oder an eine Regierungskommission gedacht, wie sie in allen anderen Ländern bestand, z. B. in den USA, wo die Atomkommission damals noch über geradezu diktatorische Vollmachten verfügte.

Die Deutsche Atomkommission bestand zu Beginn aus 27 Männern, die im öffentlichen Leben unabhängige Positionen einnahmen (s. S. 271) und die mit Hilfe der Institutionen, die sie leiteten, Wichtiges beizutragen hatten und auch über eigene Mitarbeiterstäbe verfügten, die etwas leisten konnten.

Es waren Politiker, Gewerkschaftler, Wissenschaftler und Industrielle. Sie wurden persönlich berufen und konnten sich nicht vertreten lassen. Sie standen dem Atomminister und seiner Behörde beratend zur Verfügung; der Atomminister übernahm auch den Vorsitz. Einer der Stellvertreter war noch jahrelang Otto Hahn, der weit über seine wissenschaftliche Autorität hinaus oft durch ein kluges Urteil zur Lösung strittiger Fragen beitrug.

Die Mitglieder verpflichteten sich nach außen hin zu Stillschweigen. Das war keine Verpflichtung im Sinne einer militärischen Geheimhaltung. Es bedeutete, daß die Mitglieder wie auch die Kommission als Ganzes keine Verlautbarung an die Öffentlichkeit gaben und z. B. auch keine Pressekonferenzen abhielten. Geschäfts- und Protokollführung lag beim Atomminister.

Im Berufungsschreiben wurden der Atomkommission folgende Aufgaben gestellt:

1. Ausarbeitung von Gesetzen über die Verwendung der Kernenergie.

2. Ausarbeitung eines Gesetzes über den Schutz der Bevölkerung gegen die Schäden durch radioaktive Stoffe.
3. Ausarbeitung eines Schwerpunktprogramms für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der friedlichen Verwendung der Kernenergie.
4. Ausarbeitung eines Koordinierungsprogramms, um den erforderlichen Nachwuchs an Atomwissenschaftlern und -technikern sicherzustellen.
5. Ausarbeitung von Vorschlägen für die planvolle Verwendung und Verteilung der für oben genannte Zwecke zur Verfügung gestellten Mittel des Bundes.
6. Die Behandlung der Probleme, die sich aus dem Plan zur Errichtung einer Europäischen Atomgemeinschaft und anderer internationaler Organisationen auf dem Gebiet der Kernenergie ergeben.

Zur Bearbeitung dieser Probleme gründete die Kommission Fachkommissionen und Arbeitskreise, deren Gewicht und deren Zusammensetzung in dem Maße wechselten, wie sich die Fragestellungen im Laufe der Zeit veränderten. Insgesamt waren in diesen Gremien ca. 400 Persönlichkeiten ehrenamtlich tätig.

Die Deutsche Atomkommission hat in dieser Form über 15 Jahre lang gearbeitet. Als im Jahre 1969 die Regierung Brandt die Verantwortung übernahm, wurden neben vielen anderen Reformen auch das gesamte Beratungswesen im Bereich von Bildung und Forschung verändert und zunächst einmal aufgelöst. Unmittelbar nach der 4. Genfer Atomkonferenz im Oktober 1971 traf die Deutsche Atomkommission durch einen Regierungsbeschluß das gleiche Schicksal – sie wurde aufgelöst.

## *Anlauf zum Atomgesetz*

Schon in der ersten Sitzung der Atomkommission im Januar 1956 stand das Problem eines Atomgesetzes zur Diskussion. Ein solches Gesetz war notwendig, weil durch die Pariser Verträge von 1954 die alliierte Gesetzgebung außer Kraft gesetzt worden

war und auf dem Kernenergiegebiet ein gesetzloser Zustand bestand.

Wenn jetzt im Bereich der Kernenergie die Initiative bei der Bundesregierung liegen sollte – und darüber waren sich alle einig –, so bedurfte es dazu einer Änderung des Grundgesetzes. Dies wiederum erwies sich als notwendig, da der Bund im Bereich von Forschung und Entwicklung aktiv werden sollte und hierfür z. B. auch Geldmittel zur Verfügung stellen wollte. Dies war bisher ausschließlich Vorrecht der Bundesländer gewesen.

Ein anderes Problem der Zuständigkeit bildete der Erlaß bundeseinheitlicher Sicherheitsvorschriften und die Handhabung der Genehmigungsverfahren, die bisher ausschließlich in der Kompetenz der Länder lagen. Es war zu gewärtigen, daß es in allen solchen Fragen zu Widerständen der Bundesländer kommen würde.

Das Atomgesetz ist in der Fachkommission I »Kernenergierecht« unter Vorsitz von Ernst von Caemmerer, Professor an der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät Freiburg, vorbereitet und mit der Regierung sorgfältig beraten worden. Im April 1956 hat die Atomkommission den Regierungsentwurf des Atomgesetzes schließlich einstimmig gutgeheißen.

### *Kernbrennstoff als »Privateigentum«*

Die Beratungen über das Atomgesetz waren eine erste Probe auf die Funktionsfähigkeit der Atomkommission. Die neue Materie mit technischen und politischen, damals überhaupt nicht übersehbaren Hintergründen, bot mancherlei Anlaß zur Nachdenklichkeit. Die noch sehr junge Verfassung wurde wenige Jahre, nachdem sie zustande gekommen war, erheblich strapaziert. Schon wieder geht es um den Zentralismus, den man durch eine ausgewogene, föderalistische Verfassung endgültig hatte vermeiden wollen.

Vor allem aber, was sollte mit dem Kernbrennstoff werden? In allen Ländern, die sich bisher mit der Kernenergie befaßten, gehörte der Kernbrennstoff dem Staat. Eine solche Regelung aber paßte nicht in die deutsche Situation, wo ja die Energiewirtschaft nach

privatwirtschaftlichen Grundsätzen betrieben wird. Darüber nun gingen die Meinungen auseinander, genauso wie heute bei den Diskussionen um den Besitz von Plutonium. Man einigte sich mühsam darauf, daß die Kernbrennstoffe in der Bundesrepublik Deutschland Privateigentum sein sollten. Später aber stellte sich heraus, daß über etwas verfügt worden war, was man gar nicht besaß. Nach dem Euratom wurde schließlich die Versorgungsagentur der Europäischen Gemeinschaften in Brüssel Eigentümer allen spaltbaren Materials.

So war es kein Wunder, daß es einige Zeit dauerte, bis das Atomgesetz die Hürden des Parlaments nehmen konnte. Siegfried Balke, der Franz Josef Strauß schon im Herbst 1956 als Atomminister abgelöst hatte – Strauß übernahm das Verteidigungsministerium –, brachte den Regierungsentwurf des Atomgesetzes im Februar 1957 so, wie ihn die Atomkommission beschlossen hatte, ein. Dazu gehörte die beabsichtigte und erforderliche Ergänzung des Grundgesetzes. Die Schwierigkeiten im Parlament konnten erst mehr als zwei Jahre später überwunden werden. Der inzwischen neugewählte Bundestag verabschiedete im Dezember 1959 das Gesetz ohne Änderungen.

Inzwischen wurde dieses Atomgesetz wieder novelliert, weil aus der Entwicklung heraus neue Gesichtspunkte zu berücksichtigen waren. Aber an seinen Grundsätzen wurde nichts geändert. Andererseits ist es aber auch nicht ganz still um dieses Gesetz geworden. Der Kampf um die Bundeskompetenz gegenüber den Ländern geht im Hintergrund ungeschmälert weiter.

Als die Auseinandersetzungen um die Kernenergie härter und zum Gegenstand politischer Differenzen wurden, spielte diese Bundeskompetenz wieder eine Rolle. Es gibt ein Tauziehen darum, wer die Verantwortung und die Initiative für den Standort der Entsorgungsanlage in Niedersachsen übernimmt. Als es um den Schnellen Brüter ging, bezweifelte das Oberverwaltungsgericht in Münster/Westfalen im August 1977 überhaupt die Verfassungsmäßigkeit des Atomgesetzes. Wenn das Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe sich dieser Auffassung anschließen würde, so müßten in Zu-

kunft die Länderparlamente entscheiden, ob ein solches System wie der Schnelle Brüter in Deutschland überhaupt angewandt werden soll.

*Strahlenschutz im Vordergrund*

Im Rahmen des Atomgesetzes war die Bundesregierung auch ermächtigt, eine Strahlenschutzverordnung für den Umgang mit Kernbrennstoffen und allen anderen radioaktiven Stoffen zu erlassen. Dafür gab es in der Bundesrepublik Deutschland zu dieser Zeit keine Vorlagen. Man konnte sich aber auf die Erfahrungen aus dem Ausland, insbesondere aus den USA, stützen. Im übrigen hatte das Max-Planck-Institut für Biophysik in Frankfurt unter seinem Leiter Boris Rajewsky wertvolle Unterlagen vorbereitet.

Für dieses wichtige Aufgabengebiet berief die Deutsche Atomkommission eine Fachkommission »Strahlenschutz«. Es war sehr dankenswert und dem vertrauensvollen Verhandlungsstil der Kommission angemessen, daß Ludwig Rosenberg, damals Vorsitzender des Deutschen Gewerkschaftsbundes, die Leitung dieser Fachkommission übernahm. Er mußte von seiner Position her besonders geeignet und aufgeschlossen für alles das sein, was die Fürsorge für die Menschen betraf, die in den kerntechnischen Anlagen geschützt werden mußten. Ludwig Rosenberg hat dieses Amt mehrere Jahre innegehabt und der Strahlenschutzverordnung mit seiner großen Autorität über ihre ersten Schwierigkeiten hinweggeholfen. Die Strahlenschutzverordnung wurde am 1. September 1960 wirksam und aufgrund eigener und internationaler Erfahrungen wiederholt überprüft. Sie ist noch heute das Fundament der einschlägigen Gesetzgebung in der Bundesrepublik (s. S. 194).

Um im Bereich der gewerblichen Sicherheit einen Gesprächspartner mit den Gewerbeaufsichtsämtern der Länder zu haben, ernannte der Atomminister im Jahre 1958 eine Reaktorsicherheitskommission, deren Leiter lange Jahre Josef Wengler war. Wengler, damals Chefingenieur der Farbwerke Hoechst AG, hatte schon lange Jahre vorher in der Chemie, später auch durch seine Mitwirkung beim Reaktorbau in Karlsruhe, gründliche Kenntnisse in Si-

cherheitsfragen erworben. Die Reaktorsicherheitskommission war kein Bestandteil der Deutschen Atomkommission. Sie war unmittelbar dem Atomminister unterstellt und wurde später durch ein Reaktorsicherheitsinstitut ergänzt (s. S. 236).

### *Euratom wird akut*

Schon im März 1956 wurde die Deutsche Atomkommission mit dem Problem der Gründung von Euratom konfrontiert. Damals waren die Verhandlungen zur Gründung der EWG noch nicht abgeschlossen. Es bestanden sogar Zweifel, ob es überhaupt zu diesem Zusammenschluß kommen würde. In der Bundesrepublik Deutschland wurde dieser erste Zusammenschluß der sechs europäischen Länder zur EWG mit großer Eindringlichkeit betrieben.

Hinsichtlich der Euratom-Idee war die Deutsche Atomkommission sehr skeptisch. Die Aufgaben von Euratom waren sehr weitgespannt. Es sollte die Forschung gefördert, Kenntnisse von der Kernenergie erweitert, Investitionen gemeinsam geplant und subventioniert werden. Schließlich sollte Euratom die Versorgung mit Kernbrennstoffen für die Mitgliedsstaaten bei der Wiener Behörde betreuen.

In der Bundesrepublik Deutschland hatte man Bedenken gegen eine solche monopolistische Organisation, die noch dazu auf einem Gebiet tätig werden sollte, auf dem alle Beteiligten noch sehr wenige Vorstellungen von den wissenschaftlichen Aufgaben und den wirtschaftlichen Konsequenzen besaßen.

Die USA und England standen von vornherein außerhalb. Frankreich war frühzeitig auf eine konkrete eigene Konzeption festgelegt. So glaubte man in der Bundesrepublik Deutschland, sich außer an die sechs Euratomstaaten vor allen Dingen an die Gemeinschaft der OEEC (der späteren OECD) halten zu sollen. Auch wollte man seitens der Bundesrepublik Deutschland gerne freie Hand behalten für den Abschluß zweiseitiger Verträge. Beides war aber zunächst ausgeschlossen.

Bald ließ sich jedoch erkennen, daß in diesem Fall übergeordnete

politische Ziele mitspielten. Frankreich wollte in der Frage der friedlichen Nutzung der Kernenergie gern eine feste Einbindung der Bundesrepublik Deutschland in eine Gemeinschaft. Auch die USA, die inzwischen zu zweiseitigen Verträgen bereit waren, sahen es gerne, wenn das deutsche Potential in eine europäische Gemeinschaft eingebaut würde.

So erfuhr die Deutsche Atomkommission Ende Februar 1957, ohne daß sie noch einmal gefragt worden war, daß die Regierungschefs und die Außenminister bei einem Treffen in Paris inzwischen Einvernehmen über den Text der Euratom-Verträge erzielt hatten. Die hohe Politik war wie sooft im Bereich der Kernenergie über die Sachverständigen hinweggegangen.

Zusammen mit dem Vertrag zur Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft wurde die Euratom-Vereinbarung im März 1957 in Rom unterzeichnet. Dirigistische Auffassungen hatten sich durchgesetzt. Immerhin war das Verbot der Zusammenarbeit mit der OEEC und des Abschlusses bilateraler Verträge weggefallen.

Die Euratom-Behörde begann 1958 ihre Arbeit. Die Euratom-Kommission bestand aus fünf Kommissaren, dem Franzosen Louis Armand, zugleich Präsident der Kommission, dem bald sein Landsmann Etienne Hirsch folgte; Paul de Groote für Belgien, Heinz Krekeler für Deutschland, Enrico Medi für Italien, Emanuel Sassen für die Niederlande waren die ersten Kommissare. Sie alle haben sich der europäischen Aufgabe mit großer Begeisterung gewidmet. Die gesamte Arbeit der Euratom-Behörde aber war leider nicht von großem Erfolg begleitet.

Anfänglich überwog noch der europäische Gedanke. Zur Energiepolitik Europas wurden erste wichtige Erhebungen angestellt, die der Zeit weit vorauseilten.

Ein erstes europäisches Energieprogramm stammt aus der Feder der sogenannten drei Atomweisen, dem Deutschen Franz Etzel, dem Franzosen Louis Armand und dem Italiener Francesco Giordani. Dieses Programm wurde hin und wieder bespöttelt wegen seiner zu anspruchsvollen Voraussagen bezüglich der Kernenergie.

Heute stellt sich heraus, daß damals vieles richtig überlegt war.

Aber alles andere, was von der Euratom-Behörde ausging, hatte wenig Erfolg. Man träumte von europäischen Universitäten, die es ja im Grunde genommen immer gegeben hatte. Die von Euratom gegründeten gemeinsamen Forschungseinrichtungen erlangten keine große Bedeutung. Die nationalen Institutionen der verschiedenen Länder zogen im Bereich der Kernenergie die wichtigsten Aufgaben an sich und knüpften bald eigene internationale Verbindungen über die Grenzen Europas hinaus.

Auch verlor Frankreich sein Interesse an Euratom, als im Jahre 1960 Charles de Gaulle eine nationale Atommacht zu errichten begann. Jetzt waren kaum noch gemeinsame Forschungsziele vorstellbar, da das militärische Programm Frankreichs andere Zielsetzungen haben mußte. Im Jahre 1967 ging die Euratom-Organisation endgültig in der gemeinsamen EWG-Kommission auf.

Der Organisation der Europäischen Gemeinschaft obliegt im Bereich der Kernenergie heute noch die Aufgabe, die inzwischen auf die Zahl neun angewachsenen Mitgliedsstaaten bei der Beschaffung von Kernbrennstoffen wie bei deren Überwachung zu unterstützen. Da aber Frankreich und Großbritannien als Atommächte von vornherein außerhalb stehen, hat auch diese Aufgabenstellung die Situation nicht gerade vereinfacht.

### *Das Deutsche Atomforum*

Als auf dem Gebiet der Kernenergie die ersten Schritte getan wurden, erwies es sich als besonders wichtig, die Öffentlichkeit über alle Pläne der Kernenergieentwicklung aufzuklären, zumal erwartet werden konnte, daß auf diesem schwierigen Gebiet die Meinungen zuweilen weit auseinanderklaffen würden und die Allgemeinheit sehr kritisch den großen finanziellen Aufwand beobachten würde, der für Forschung, Entwicklung und Bau von Kernkraftwerken nötig war.

Unmittelbar unter dem Eindruck von Genf hatten sich in der er-

sten Begeisterung in verschiedenen Teilen des Landes Initiativen und Zusammenschlüsse zur Förderung der Kernenergie gebildet, die schließlich im Jahre 1959 zum Deutschen Atomforum vereinigt wurden. Es gehörten dazu die Parlamentarier in Bonn, die Gesamtheit der technisch-wissenschaftlichen Vereine, die Industrie und schließlich weite Kreise der Öffentlichkeit, die der Verfasser als neuer Präsident gelegentlich einer repräsentativen Gründungssitzung im Jahre 1960 in Bonn begrüßen konnte.

Manche Kritiker im In- und Ausland haben diese Gründung zunächst einmal als deutsche Vereinsmeierei betrachtet. Später haben die Atomgegner versucht, das Atomforum als eine Lobby der kerntechnischen Industrie abzustempeln. Sehr früh zeigte sich bereits, daß ein solcher Zusammenschluß für die Förderung der Kernenergie notwendig und nützlich war. Das Atomforum wurde zu einem Bindeglied für alle, die sich für dieses neue Arbeitsgebiet interessierten und die daran mitwirken wollten.

Je mehr es gelang, alle unterschiedlichen Bestrebungen in zweckmäßige Bahnen zu lenken, desto wertvoller erwies sich dieser Zusammenschluß von Menschen und Berufen so verschiedener Herkunft. Die Kernenergie wurde zu einem eigenen Wissens- und Arbeitsgebiet.

Es bedurfte einer gewissen Großzügigkeit, die unterschiedlichen Zielsetzungen unter einem Dach zu vereinen. So waren nicht nur die Interessen der Industrie und der Wissenschaftler unterschiedlich. Es gab auch unterschiedliche Auffassungen in den einzelnen Bundesländern. Standesfragen, z.B. unterschiedliche Probleme der Beamten, der freien Wissenschaftler und der Industriellen, spielten bei allen diesen Überlegungen eine Rolle.

Es blieb der Grundsatz des Deutschen Atomforums, allen Mitgliedern eigene Initiativen zu ermöglichen. Sie konnten sich zu örtlichen und speziellen Vereinigungen zusammenschließen. Es mußte nur darauf geachtet werden, daß sich der gemeinsame Aspekt der Förderung der Kernenergie nicht in Sonderinteressen auflöste.

Als die Zahl der Einzelmitglieder im Bereich der Naturwissenschaft und Technik sehr groß wurde, schlossen sich viele von ihnen

mit bisher außenstehenden Personen zur Kerntechnischen Gesellschaft zusammen. In den Kernforschungszentren, in Behörden und in Entwicklungsstäben der Wirtschaft kamen ganz automatisch Naturwissenschaftler und Techniker der verschiedensten Disziplinen zusammen, zu denen sich auch Volkswirtschaftler und Juristen gesellten. So gab es bald eine große Zahl von Sachkennern aus den verschiedensten Fachrichtungen, deren Interesse an der Kernenergie ständig zunahm.

Diese Kerntechnische Gesellschaft ist aufgrund einer gegenseitigen Vereinbarung zu einem wichtigen eigenständigen Bestandteil des Atomforums geworden und heute, gemeinsam mit dem Atomforum, Träger der jährlich stattfindenden Reaktortagungen, bei denen rd. 2000 Teilnehmer vor der Öffentlichkeit ihre Probleme diskutieren.

*Kernenergie und Öffentlichkeit*

Hauptaufgabe des Deutschen Atomforums blieb, das Bewußtsein der Bürger für Wesen und Notwendigkeit der Kernenergie zu stärken und wach zu halten. Es gab immer wieder Entscheidungen, die gefällt werden mußten, und politische Probleme, zu denen es eine Meinung zu bilden galt. Dabei stand die Arbeit mit der Presse im Vordergrund. Das Atomforum kümmerte sich um das Ausstellungswesen und beschaffte Literatur, die der Öffentlichkeit diese Probleme zugänglich machte. Aufgeschlossene Verlage gründeten Zeitschriften, beispielsweise die »atomwirtschaft-atomtechnik (atw)«, die im Verlag Handelsblatt erscheint.

Einen ersten Höhepunkt erreichte die Arbeit des Deutschen Atomforums mit dem Foratomkongreß in Frankfurt 1965. Schon im Juli 1960 war es in Paris zu einem europäischen Zusammenschluß aller damals bestehenden ähnlichen Vereinigungen gekommen, die nun nach und nach in allen europäischen Ländern entstanden.

Der zweite Foratomkongreß in Frankfurt war für damalige Verhältnisse ein großer Erfolg. Es kamen rd. 1000 Fachleute aus 20

Ländern in Frankfurt zusammen. Bei einem Bankett in der Jahrhunderthalle in Höchst stand noch einmal der 86jährige Otto Hahn im Mittelpunkt.

Auf Anregung der Gesellschaft Deutscher Chemiker stifteten die im Deutschen Zentralausschuß für Chemie zusammengeschlossenen Organisationen und der Verband der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Juni 1955 einen Otto-Hahn-Preis für Chemie und Physik, der im gleichen Jahr zum ersten Mal an Lise Meitner und Heinrich Wieland verliehen wurde.

Dieser Preis erhielt in Deutschland einen hohen Rang. Er wird für einmalige Verdienste um die Entwicklung der Chemie und Physik verliehen.

Kurz nach dem Tod von Otto Hahn stiftete seine Heimatstadt am 8. März 1969 den Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt. Mit ihm werden junge Wissenschaftler ausgezeichnet, die wesentliche Leistungen im Wissensgebiet Otto Hahns erbrachten oder auch Persönlichkeiten, die sich mit Erfolg um die friedliche Verwendung der Kernenergie verdient gemacht haben. Am 8. März 1970 wurde der Preis erstmals im Römer in Frankfurt an den Berliner Strahlenmediziner Karl Zumwinkel verliehen.

Die lose Form der Zusammenarbeit des Atomforums mit allen, die Kernkraft als Lösung des Energieproblems bejahen, hat sich bis heute bewährt. Dieses Forum muß für alle offenbleiben, die sich grundsätzlich mit den Problemen der Kernenergie auseinandersetzen wollen. Dazu kann nicht zählen, wer entweder aus Unkenntnis oder grundsätzlich aus ideologischen Gründen gegen die Kernenergie agitiert. Es wird immer der Fehler aller einschlägigen Bürgerinitiativen bleiben, daß sie über Sachfragen der Einfachheit halber gar nicht mehr mit sich diskutieren lassen.

Das Deutsche Atomforum ist ein Verein zur Förderung der Kernenergie. Bei diesem gemeinsamen Ziel gilt jedoch die Voraussetzung, daß alles Für und Wider nach sachlichen und nicht nach emotionellen Gesichtspunkten gegeneinander abzuwägen ist.

Über die nahezu 20 Jahre seines Bestehens hat das Deutsche Atomforum die mannigfaltigsten Interessen immer miteinander in

Einklang bringen können. Es hat sich auch durchgesetzt gegen viele Vorwürfe und Zweifel an der Sachlichkeit dieser Institution.

### *Die deutschen Atomprogramme*

Als die Deutsche Atomkommission im Jahre 1958 ihr 1. Atomprogramm verabschiedete, waren die ersten Forschungsreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland schon in Betrieb.

In dieser Phase der Begeisterung für eine neue Sache hatte es verschiedene dankenswerte Initiativen gegeben, die schnell zu Entscheidungen führten und den deutschen Naturwissenschaftlern und Technikern eine schrittweise Vertrautheit mit den Kernreaktoren vermittelten, von denen sie einen in Genf zum ersten Mal gesehen hatten.

Es gibt dazu eine nette Anekdote, die berichtet wurde, als im Herbst 1977 der ehemalige bayerische Ministerpräsident Wilhelm Hoegner seinen 90. Geburtstag feierte,

Auf Anregung von Werner Heisenberg hatte der bayerische Ministerpräsident Hoegner eine bayerische Atomkommission gegründet, vor der im Juni 1956 Atomminister Franz Josef Strauß einen Vortrag über seine Pläne hielt. Als Hoegner davon hörte, daß man einen Forschungsreaktor in den USA nunmehr kaufen könnte, machte er in der Sitzung folgenden Vorschlag: »Ich habe soeben festgestellt, daß mehr als die Hälfte der Kabinettsmitglieder anwesend sind. Damit ist der Ministerrat beschlußfähig. Ich eröffne jetzt eine außerordentliche Sitzung des Ministerrats. Einziger Tagesordnungspunkt: Ankauf des Lehrreaktors. Ist jemand dagegen?« Dies war die Geburtsstunde des sogenannten Atomeis in München, das dann unter Leitung von Heinz Maier-Leibnitz errichtet wurde.

Eine ähnliche Initiative ging in Hamburg von Karl Schubert, Ministerialdirektor im Bundesverkehrsministerium, aus, der später maßgeblich an den Planungen für das Atomschiff »Otto Hahn« beteiligt war. In Frankfurt stiftete die Farbwerke Hoechst AG der Universität einen sogenannten homogenen Reaktor mit einer Leistung von 50 kW. Er wurde später mit Unterstützung des Landes

Hessen zu einem kleinen kerntechnischen Zentrum ausgebaut. Ein gleicher Reaktor wurde in Berlin für das Hahn-Meitner-Institut bestellt.

Nordrhein-Westfalen ging einen eigenen, sehr viel aufwendigeren Weg. Staatssekretär Leo Brandt legte in Jülich den Grundstein für eine Kernforschungsanlage, die parallel zu Karlsruhe große Bedeutung bekommen sollte.

Im Rahmen eines bilateralen Abkommens mit Großbritannien bestellte das Land Nordrhein-Westfalen zwei englische Kernreaktoren. Später kamen an anderen Orten in der Bundesrepublik weitere Forschungsreaktoren hinzu.

Die erste Möglichkeit, auch im Bereich der eigentlichen Kernphysik zu arbeiten, bot sich für die Deutschen bei CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), wo gelegentlich der Atomkonferenz in Genf der Grundstein für eine große europäische Anlage gelegt wurde. Hier ging es darum, sich von Europa aus in die Arbeiten einzuschalten, die einmal von den USA ausgegangen waren. Ihr Ziel war es, die Feinstruktur der Materie mit Mitteln der Hochenergiephysik zu untersuchen.

Vorbild waren die Beschleuniger, die als erster Ernest Orlando Lawrence in Berkeley zu bauen begonnen hatte, wofür er schon im Jahre 1939 den Nobelpreis erhielt. Mit Hilfe solcher in der weiteren Entwicklung immer größer werdenden Beschleuniger wurden in den 40er Jahren neue Elementarteilchen nachgewiesen.

Das andere Ziel solcher Beschleuniger war, neue Elemente jenseits des Urans zu entdecken. Im Wettlauf mit den Russen, die später gleiche Untersuchungen begannen, wurden Transurane bis zur Ordnungszahl 103 über das Uran (92) hinaus hergestellt, die alle zunächst sehr unbeständig sind. Von der Fortsetzung dieser Forschungen erhofft man, zu wesentlich schwereren Elementen zu kommen, die dann nach den Voraussagen der Kernphysik wieder beständiger sein sollen und interessante Eigenschaften haben können. Im gleichen Zusammenhang war es den Amerikanern gelungen, im periodischen System bisher noch leere Plätze mit Elementen auszufüllen, die man noch nicht gekannt hatte.

Am CERN-Protonenbeschleuniger arbeiteten von Beginn an Heidelberger Kernphysiker unter Führung von Wolfgang Gentner mit internationalen Wissenschaftlern zusammen.

Europa mit seiner alten, verschiedenartigen Tradition in Lehre und Forschung hatte es bei solchen gemeinsamen Unternehmungen von vornherein meist viel schwerer als die Großmächte USA und die UdSSR mit ihrer starken nationalen Geschlossenheit auch auf wissenschaftlichem Gebiet. So mußten für eine erfolgreiche Zusammenarbeit in Genf zum ersten Mal neue Spielregeln festgesetzt werden, die heute längst selbstverständlich sind.

Die Mitwirkung an internationalen Gemeinschaftsaufgaben verlangte, daß zugleich auch im nationalen Raum eine Basis vorhanden ist, aus der eigene Erkenntnisse gewonnen und eigene Beiträge erarbeitet werden können. Deswegen kam in Deutschland sehr früh der Beschluß zustande, in Geesthacht bei Hamburg ein Elektronen-Synchrotron mit einer Leistung von 6 GeV zu errichten. Bund und Land stellten für das gemeinsame Projekt – DESY genannt (Deutsches Elektronen-Synchrotron) – 45 Millionen DM bereit.

Nach einer Bauzeit von etwa 4 Jahren kam es 1961 in Betrieb. Kleinere Beschleuniger wurden in Heidelberg, Göttingen, Bonn und Mainz errichtet.

Es gab in der Deutschen Atomkommission kaum jemals eine Meinungsverschiedenheit über die Notwendigkeit solcher grundsätzlichen Forschungseinrichtungen. Man war sich immer darüber einig, daß das neue Arbeitsgebiet der Kernphysik und der Kernenergie in seiner ganzen Breite und unter Einschluß aller wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet werden mußte. Nur so konnte eine erfolgreiche Kernenergiepolitik eingeleitet und auch die Skepsis der anderen Forschungsorganisationen in der Bundesrepublik Deutschland überwunden werden, die der Atompolitik zunächst sehr skeptisch gegenüberstanden. Die Max-Planck-Gesellschaft und die Forschungsgemeinschaft, aber auch alle deutschen Universitäten befürchteten, daß für die großen neuen Ansprüche Gelder benötigt werden, die möglicherweise ihren eigenen Forschungen

entzogen würden. Die Zusammenarbeit in der Fachkommission II »Forschung und Nachwuchs« beseitigte bald dieses Mißtrauen.

Kritische Diskussionen und ernsthafte Einwände wegen des hohen finanziellen Aufwandes solcher Experimente kamen erst auf, als später in Einzelfällen die Grenzen der verfügbaren Mittel erreicht wurden. Das galt zum Beispiel, als man im Jahre 1967 die Planung für einen großen Protonenbeschleuniger vorlegte, der die USA und die Sowjetunion noch überrunden sollte.

Gerade hier aber zeigte sich der Wert eines Beratungsgremiums mit vielseitigem und kritischem Urteilsvermögen. Es ging zum ersten Mal im Rahmen der Atomkommission um die grundsätzliche Frage: Steht der Forschungsaufwand im Vergleich zu dem erzielbaren Erfolg und den Bedürfnissen anderer Wissenschaftsgebiete im richtigen Verhältnis?

Die Diskussionen und das Ringen mit dieser Frage währten nahezu drei Jahre lang. Sie wurden nicht leichter, weil die einzelnen Mitgliedsstaaten der OECD dabei recht eigennützige Standortwünsche vorbrachten.

Schließlich wurde eine allen Beteiligten einleuchtende Lösung in CERN gefunden. Dort waren die notwendigen allgemeinen Einrichtungen vorhanden, so daß die Kosten zwangsläufig niedriger gehalten werden konnten. Der Protonenbeschleuniger ist Anfang 1977 in Betrieb gekommen.

Im deutschen Raum entstand in der gleichen Zeit der schon erwähnte Schwerionenbeschleuniger in Darmstadt.

### *Chemie in heißen Zellen*

In Deutschland konnte im Jahr 1955 auch mit der sogenannten »heißen Chemie« begonnen werden.

Beim Bestrahlen des Urans mit Neutronen entsteht eine große Zahl mehr oder weniger beständiger Zerfallsprodukte – Radionuklide oder radioaktive Isotope genannt. Sie senden Alpha-, Beta- und Gammastrahlen aus und zerfallen in immer beständiger werdende kleinere Elemente.

Die unterschiedliche Lebensdauer wie auch die Art der Strahlung mit ihren verschiedenen Durchdringungsvermögen eröffnen ein weites Feld von Anwendungsmöglichkeiten. Kobalt 60, mit einer verhältnismäßig langen Lebensdauer, ist eine wichtige Strahlenquelle für diagnostische und therapeutische Zwecke in der Medizin. Zur Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen werden kurzlebige Isotope, in diesem Fall Jod 131, implantiert. Im Falle einer Anwendung innerhalb des menschlichen Körpers haben solche kurzlebigen Substanzen die willkommene Wirkung, daß nach wenigen Minuten die Strahlung wieder auf Null zurückgeht. Für die Herstellung solcher künstlichen Radionuklide sind sogenannte »heiße Zellen« notwendig, in denen hinter starken Abschirmwänden aus Blei oder Beton vor allen Dingen die durchdringenden Gammastrahlen abgeschirmt werden können.

Laboratorien dieser Art gibt es heute in den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich. Aber auch in Industrielaboratorien, wie z. B. bei der Hoechst AG. Mehr oder weniger gut ausgerüstete und stark abgeschirmte heiße Laboratorien befinden sich heute auch in nahezu allen Forschungslaboratorien. In den heißen Zellen lassen sich Präparate aufarbeiten, die in Kernreaktoren mit Neutronen bestrahlt werden. Aus denen können die gesuchten Isotope isoliert und entsprechend verpackt in den Handel weitergegeben werden. Wo man diese Präparate anwendet, in Universitätslaboratorien mannigfaltigster Art wie auch in Krankenhäusern, sind natürlich geeignete Schutzmaßnahmen notwendig.

Die Verwendung von natürlichen und künstlichen Isotopen ist inzwischen ein weitverbreitetes Hilfsmittel der Naturwissenschaft und Medizin geworden. Radioaktive Isotope werden in chemische Substanzen eingebaut. Sie dienen zur sogenannten Markierung, d. h. man baut sie in Moleküle ein und verfolgt ihre Umsetzung. Die Strukturbestimmung komplizierter organischer Verbindungen geschieht mit solchen Isotopen ebenso wie die Markierung eines Arzneimittels, dessen Weg und dessen Veränderung im lebenden Organismus durch sie verfolgt werden kann. Solche Untersuchungen sind von größtem Interesse für die Toxikologie, wo es um die Prüfung

von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln und chemischen Produkten aller Art geht.

Ein faszinierendes Beispiel bei der Entwicklung und Nutzung dieser Radioisotope ist die C-14-Methode des Amerikaners Willard Frank Libby. Dabei wird mit Hilfe radioaktiver Isotopen das Alter kunstgeschichtlicher Funde, etwa der Papyrusrollen vom Toten Meer, auf Jahre hinaus zurückverfolgt und genau bestimmt.

Inzwischen sind zahlreiche radioaktive Substanzen im Handel. Sie werden immer häufiger in allen Bereichen der Naturwissenschaft, Technik und Medizin verwendet. Die Strahlenchemie, d.h. die Beeinflussung chemischer Reaktionen durch Strahlung, ist eine Zeitlang ein reizvolles Arbeitsgebiet der Chemie gewesen. Es hat sich aber ergeben, daß die Einflußmöglichkeiten auf den Mechanismus, insbesondere auch auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, außerordentlich gering sind. Übriggeblieben sind von diesen Versuchen einige Sonderfälle, wie z.B. die Sterilisation von Lebensmitteln und medizinischen Materialien wie auch die Härtung von Kunststoffoberflächen.

Ein wichtiges Arbeitsgebiet in den heißen Laboratorien wurde gleich zu Beginn die Analyse und Bearbeitung der ausgebrannten Kernbrennstoffe. Hier galt es, die Wiederaufarbeitung (das Reprocessing) vorzubereiten (s. S. 165).

In engem Zusammenhang mit diesen ersten Schritten entstanden die Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich. Die Arbeiten in Karlsruhe waren zunächst auf die industriellen Entwicklungen des ersten selbstgebauten Natururan-Reaktors FR 2 ausgerichtet. Später wurde ein großer Teil dieser mit dem technischen Reaktorbau zusammenhängenden Fragen von der Industrie übernommen. Trotzdem blieb bis heute eine enge Zusammenarbeit zwischen den Kernforschungszentren und den Industrielaboratorien bestehen.

Zug um Zug gliederten sich die Zentren, die heute zu 90% vom Bund und zu 10% vom jeweiligen Bundesland finanziert werden, allgemeine Forschungslaboratorien an, wodurch sie über den ursprünglichen Umfang weit hinauswuchsen, während die Aufgaben

des eigentlichen Reaktorbaus heute in den Forschungsstätten der Industrie bewältigt werden.

Das später entstandene Forschungszentrum in Neuherberg – Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München mbH – hat vom Max-Planck-Institut für Biophysik die Bearbeitung genereller Fragen der Strahlenbiologie übernommen. Hinzu kommt inzwischen das Institut für Plasmaphysik in Garching, das sich mit der Kernfusion befaßt, die Reaktorstation Geesthacht, das Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung in Berlin-Wannsee, das Deutsche Elektronen Synchrotron (DESY) in Hamburg und neuerdings die Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt (GSI).

Diese Kernforschungszentren haben innerhalb des Aufbaus der Kernenergie in Deutschland von Beginn an einen wichtigen Platz eingenommen. Für ihre Errichtung sind bis heute ca. 5 Milliarden DM aufgewendet worden. Dort sind insgesamt ca. 12000 Menschen tätig. Über die Kernenergie hinaus beschäftigen sich diese großen Forschungsinstitute heute mit übergeordneten Aufgaben, wie z. B. Fragen des Umweltschutzes, der Systemforschung und vielen anderen Problemen, die sich aus der vollständig veränderten Rohstoffsituation in der Welt und den Ansprüchen unserer modernen Gesellschaft ergaben.

### *Ein 500-MW-Programm*

Mit der Inangriffnahme eines technischen Bauprogrammes für Kernreaktoren ist die Bundesrepublik Deutschland sehr behutsam vorgegangen. Ganz offensichtlich gab es lange Zeit noch keinen Reaktortyp, der endgültig mit den traditionellen Kraftwerken würde konkurrieren können.

Der Natururan-Schwerwasserreaktor in Karlsruhe war im Bau, so daß die Industrie im Reaktorbau technische Erfahrungen sammeln konnte.

Das RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG) bestellte 1958 in eigener Initiative einen kleinen Leichtwasserreaktor.

Damit hatte sich die Bundesrepublik in eine Entwicklung eingeschaltet, die später für lange Zeit die vorherrschende Reaktorgeneration abgeben sollte.

Das deutsche Reaktorprogramm, das 1958 aus der Taufe gehoben wurde, sollte zwar den Kauf ausländischer Typen nicht ausschließen, aber staatliche Mittel für solche Ankäufe nicht einsetzen. Ziel des deutschen Programms war es, Entwicklungen aufzunehmen, die aus deutscher Sicht als aussichtsreich galten, aber noch nicht genügend bearbeitet waren. Das war eine sehr anspruchsvolle Zielsetzung angesichts der verhältnismäßig großen Zahl von Vorschlägen und Typen, die damals zur Diskussion standen.

Man entschied sich nach langen Beratungen für ein Programm, das fünf Typen umfaßte.

1. Ein schwerwassermoderierter und -gekühlter Druckkessel-Natururan-Reaktor, der eine Weiterführung des FR 2 in Karlsruhe darstellen sollte.
2. Ein fortgeschrittener, leichtwassermoderierter und gasgekühlter Reaktor.
3. Ein fortgeschrittener, gasgekühlter, graphitmoderierter Reaktor mit Natururan.
4. Ein fortgeschrittener Hochtemperaturreaktor mit Gaskühlung und angereichertem Uran (Kugelhaufenreaktor).
5. Ein fortgeschrittener, mit organischer Substanz gekühlter Leistungsreaktor.

Schließlich gehörte zu den damals diskutierten Vorschlägen auch schon der Schiffsreaktor, der ursprünglich organisch moderiert und gekühlt sein sollte.

Für diese Reaktortypen entstanden spezielle Planungsgruppen, in denen die Industrie mit den Kernforschungszentren zusammenarbeitete. Diese Planungsgruppen erhielten den Auftrag, jeweils mit einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) zusammenzuarbeiten, um schließlich zu einem realistischen Projekt zu kommen. Es gab einen Zeitplan, der sicherstellen sollte, daß im Jahre 1965 Kernkraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa 500 MW fertiggestellt sein konnten.

Das Programm sah Maßnahmen zur Beschaffung von Kernbrennstoffen sowie alle für den Brennstoffkreislauf erforderlichen Vorbereitungen vor. Es schloß auch den Beginn von Versuchen zur Wiederaufbereitung ausgebrannter Brennelemente ausdrücklich ein.

Die Kosten für dieses Programm, das einen Zeitraum von fünf Jahren umfaßte, wurden nach langen Verhandlungen mit dem sparsamen Finanzminister auf 700 Millionen DM veranschlagt. Schließlich hat es nach Abschluß 1452 Millionen DM – mehr als das Doppelte – gekostet.

Schon die Liste der in Aussicht genommenen Reaktorprojekte zeigt, wie unvollkommen damals noch die Vorstellungen waren. Es gab überall in der Welt mancherlei Ideen, die nur aus der Atmosphäre der Gründerzeit verständlich waren.

Glücklicherweise verlief dann auch die Verwirklichung des Programms ganz anders, als man es sich zuerst vorgestellt hatte. Das gilt sowohl für die Auswahl der Kernreaktorprojekte als auch im Hinblick auf den zeitlichen Aufwand. Aber das war ja von Beginn an das Vorteilhafte an der deutschen Arbeitsweise, daß man nicht starr an einem sogenannten Fünfjahresplan festhielt.

Die Firma Siemens setzte die in Karlsruhe begonnene Natururanlinie zunächst fort. Die AEG stützte ihre Arbeiten auf amerikanische Lizenzen und betrieb die Entwicklung der Leichtwasserreaktoren weiter außerhalb des Programms. Im Bereich der fortgeschrittenen Reaktoren wurde der 15-MW-Hochtemperaturreaktor in Angriff genommen, den Rudolf Schulten unter dem Namen »Kugelhaufenreaktor« frühzeitig geplant hatte.

Nicht alle im Eltviller Programm enthaltenen Typen wurden verwirklicht. So wurde das Projekt Nr. 3, der fortgeschrittene, gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktor, nicht in Angriff genommen. Auch das Projekt Nr. 5, der Leistungsreaktor, der mit organischer Substanz gekühlt werden sollte, fand in Deutschland keinen Anklang.

Das in diesem 1. deutschen Atomprogramm gesteckte Ziel, 500 MW elektrische Leistung in Form von Kernenergie zu entwickeln,

wurde nicht erreicht. Eine Bilanz im Jahre 1964, als das 2. deutsche Atomprogramm für die Jahre 1963–1967 formuliert wurde, ergab, daß die installierte Kernkraftwerksleistung in der Bundesrepublik etwa 340 MW betrug. Bei dieser Bilanz zeigte sich aber auch, daß gerade die Art der Formulierung und der Abwicklung dieses 1. Atomprogramms ein gesundes Fundament für die deutsche Kerntechnik geschaffen hatte. Es war eine Entwicklung mit »fliegendem Start«.

Von da ab war die Aufstellung der jeweiligen Atomprogramme, die das Haushaltsrecht verlangte und die in sorgfältiger Beratung der Arbeitskreise und der Atomkommission zustande kamen, jeweils ein nützlicher Anlaß, den Stand der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland zu überprüfen. Die vier Genfer Atomkonferenzen, die in diesem Zeitraum stattfanden und der sich verstärkende internationale Gedankenaustausch steuerten gute Anhaltspunkte dazu bei, die sich mit gewaltiger Geschwindigkeit vollziehende Entwicklung in die richtigen Bahnen zu lenken.

Auch nach 1968 waren die Atomprogramme, welche der Bundesregierung schließlich vorgelegt wurden, nur Orientierungsrahmen, die von Wissenschaft, Technik und Staat vorbereitet wurden. Sie berücksichtigten den jeweiligen Stand der Entwicklung in der Welt und wiesen gangbare Wege in die Zukunft. Sie konnten auch jeweils geändert werden. Ihre Genehmigung bedeutete noch lange keine Freigabe der Mittel. Für jedes größere Projekt mußte später noch einmal eine sorgfältige Begründung vorgelegt werden, wobei das Finanzministerium jederzeit ein Einspruchsrecht hatte.

Im Rahmen der vier bis zum Jahre 1976 reichenden Atomprogramme wurden in der Bundesrepublik Deutschland seitens des Staates im Verlauf von 11 Jahren ca. 20 Milliarden DM aufgewendet. Darin sind eingeschlossen die Errichtung und der Betrieb der Kernforschungszentren und die Beteiligung an den internationalen Organisationen und deren Objekten wie Euratom, OEEC, CERN u. a.

Es war ungewöhnlich und mühselig, ein solches weitreichendes Programm, dessen naturwissenschaftliche Voraussetzungen und

dessen wirtschaftliche Möglichkeiten noch ungeklärt waren, den Gesetzen einer Demokratie mit ihrer Bürokratie und einer kritischen Öffentlichkeit anzupassen und verständlich zu machen. Aber es gelang sicherzustellen, daß dabei weder die Forschung noch die technische Entwicklung, noch auch die Wirtschaftlichkeit zu kurz kamen. Der Erfolg zeigt sich heute darin, daß der Stand der Entwicklung auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland dem internationalen Standard entspricht, nachdem sie 1955 bei Null angefangen hatte.

Als im Jahre 1971 die Deutsche Atomkommission aufgelöst wurde, entstand eine Lücke in diesem bewährten Beratungswesen. Doch die Richtungsgebung und die Grundsätze einer deutschen Atompolitik waren inzwischen schon weitgehend erarbeitet. Die Schwerpunkte der Programme lagen fest und bewegten sich in der Linie der internationalen Entwicklung.

Nach verschiedenen Umorganisationen innerhalb der Bundesministerien liegt die Entwicklung der Kernenergie jetzt beim Bundesminister für Forschung und Technologie, der 1977 ein umfassendes Energieforschungsprogramm vorgelegt hat. Entsprechend der derzeitigen Situation sind in dieses Programm neben der Kernenergie auch alle Forschungsarbeiten zur Einsparung von Energie sowie über neue Energieformen usw. eingeschlossen.

Im Zeitraum von 1977–1980 sollen hierfür 6,5 Milliarden DM aufgewendet werden. Davon sind etwa 4,5 Milliarden DM für die Weiterentwicklung der Kernenergie bestimmt.

Die Verantwortung für die Sicherheitsmaßnahmen und die Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen ist dem Bundesinnenministerium zugewiesen. Für die Energiepolitik als Ganzes ist der Bundeswirtschaftsminister zuständig.

Als die Kernenergie immer stärker in den Mittelpunkt komplizierter innen- und außenpolitischer Diskussionen und Entscheidungen rückte, war ersichtlich, daß etwas zur gemeinsamen Klarstellung und Zielsetzung der Regierungspolitik geschehen mußte.

Um die verschiedenen Bundesressorts, die jetzt für die Kernenergie zuständig sind, zu einer gemeinsamen Politik zu koordinieren,

gründete Bundeskanzler Helmut Schmidt in einer persönlichen Initiative im Jahre 1977 einen »Nuklearrat«, in dem die Ressortminister, die Fraktionsführer des Bundestages mit Repräsentanten von Industrie, Forschung und Gewerkschaft zusammenarbeiten. Es ist der dankenswerte Versuch, nach jahrelanger Unterbrechung wieder ein Beratungsorgan zu schaffen, in dem alle Probleme der Kernenergie zusammengefaßt und erörtert werden können. Vielleicht entsteht daraus wieder eine »konzertierte« Aktion.

# Kapitel 5
# URAN UND PLUTONIUM ALS KERNBRENNSTOFFE

Im Zuge des Experiments von Hahn und Strassmann wurde – wie man sich erinnert – Uran mit thermischen Neutronen bestrahlt. Das Ergebnis war nicht erwartet worden: anstelle von Elementen mit höherer Massenzahl – sogenannten Transuranen – wurden Spaltprodukte gewonnen. Mit ausgeklügelten Methoden haben die beiden Chemiker Barium und Krypton als Spaltstoffe nachgewiesen. Das hat die einschlägige Forschung weithin überrascht.

Mit Hilfe dieses Experiments war bald zu schließen, daß bei solch einer Spaltung ungeheuer große Energiemengen freigesetzt werden, die jede aus bisher bekannten chemischen Prozessen gewonnene Reaktionswärme weit übertrafen.

Liefert beispielsweise ein Kilogramm Kohle bei der Verbrennung ca. 10 Kilowattstunden, so bringt ein Kilogramm U 235 bei vollständiger Spaltung mehr als zweimillionenmal soviel, nämlich 22 Millionen Kilowattstunden.

Die kinetischen Vorgänge selbst sind rasch gedeutet worden. Dabei ergab sich, daß bei der Spaltung des Urans außer einem Atom Barium bzw. Krypton noch andere Atompaare entstehen und drei Neutronen frei werden, wenn diese Neutronen nicht durch neutronenabsorbierende Elemente eingefangen werden. Jedes freiwerdende Neutron aber wirkt auf ein weiteres Uran-235-Atom. So steigert sich die Reaktion zu explosionsartiger Geschwindigkeit, sofern jedes freiwerdende Neutron wirklich zur weiteren Kernspaltung ausgenutzt werden kann. Hierzu muß allerdings das U 235 in

hoher Konzentration von nahezu 100 Prozent vorhanden sein, weil das Uran 238 am thermischen Zerfall nicht beteiligt ist, gleichwohl jedoch Neutronen schluckt und damit ungenutzt verbraucht. Andererseits muß eine gewisse Masse verfügbar sein, damit die Neutronen nicht zu früh an die Umgebung abgegeben werden. Diese sogenannte kritische Masse beträgt beim metallischen Uran 235 etwa 50 kg, das entspricht einer Kugel von 8,4 cm Radius mit einem Inhalt von 2,2 Liter (s. Bild 3, Farbbildteil S. I).

Alle Beimengungen von Elementen, die nicht zerfallen – wie etwa das U 238 –, verlangsamen die Geschwindigkeit der Neutronen und absorbieren sie vollständig. Aus U 238 bildet sich in diesem Fall nach Aufnahme eines Neutrons und Abgabe von zwei Elektronen ein Transuran, das Plutonium (Pu). Diese Umwandlung hatten Hahn und Strassmann damals auch für das U 235 angenommen, aber dann nicht beobachten können.

Mit Natururan allein, das nur 0,7 Prozent U 235 enthält, kann man eine Explosion also nicht auslösen.

### *Gebremste Reaktion – Kernenergiegewinnung*

Eine kontrollierte, nämlich gesteuerte Kernreaktion wird dadurch erreicht, daß die Neutronen auf thermische Geschwindigkeit abgebremst und soweit absorbiert werden, daß pro gespaltenes U-235-Atom nur noch ein Neutron für den Zusammenstoß mit weiteren U-235-Atomen übrig bleibt. So entwickelt sich eine gleichmäßig verlaufende Kettenreaktion, die solange andauert, bis die Zahl der für eine weitere Spaltung zur Verfügung stehenden Neutronen unter eins fällt (s. Bild 4, Farbbildteil S. II).

Eine derart gesteuerte Kettenreaktion entspricht der Kernenergieerzeugung in den derzeitigen Reaktoren. Elemente, welche die Geschwindigkeit der beim Zerfall des Urans entstehenden Neutronen bremsen, nennt man Moderatoren. Als für die Kernreaktoren geeignete Moderatoren haben sich Wasser ($H_2O$), Schweres Wasser ($D_2O$) und Graphit ergeben.

Reaktoren lassen sich jedoch auch ohne Moderatoren, d.h. mit

nicht verlangsamten Neutronen betreiben. Man spricht dann von schnellen Reaktoren. Sie enthalten außer dem Brennstoff nur das Kühlmittel und gegebenenfalls Strukturmaterialien von den Brennelementen und Abschaltstäben.

Im Laufe der Zeit haben sich aus den vielen Möglichkeiten, welche die Kernphysik bietet, Kombinationen herausgebildet, die als Grundlagen für Reaktortypen technisch zur Verfügung stehen. Es sind dies:

1. Natururan mit Schwerem Wasser als Moderator
2. Angereichertes Uran mit leichtem Wasser als Moderator
3. Natururan oder angereichertes Uran mit Graphit
4. Schnelle Reaktoren

### *Das Plutonium*

Neben der von Hahn und Strassmann beobachteten Kernspaltung entstehen unter der Einwirkung von Neutronen auf schwere Elemente auch Transurane mit einer höheren Protonen- und Neutronenzahl. So entsteht durch Aufnahme von einem Neutron aus U 238 über das künstliche Element Neptunium Plutonium, ein weiteres künstliches Element der Masse 239. Daneben entstehen auch andere Plutonium-Isotope, z. B. Pu 240, Pu 241 und Pu 242 (s. Bild 5, Farbbildteil S. II).

Das Plutonium läßt sich ähnlich wie das U 235 durch Einwirkung eines Neutrons spalten, und zwar unter Freisetzung einer noch etwas größeren Anzahl sekundärer Neutronen. Plutonium ist also auch ein Kernbrennstoff, der in normalen Reaktoren zwangsläufig entsteht. Es nimmt seinerseits an der Kernspaltung teil. Aber ein Teil reichert sich mit anderen Spaltprodukten an und kann aus den abgebrannten Brennelementen gewonnen werden. Allerdings sind die gradzahligen Pu-Isotope Pu 240 und Pu 242 nicht spaltbar.

Die Amerikaner haben von Beginn ihrer Aktivität auch diesen Prozeß genutzt. Der unter Leitung von Enrico Fermi in Chikago errichtete Uran-Graphit-Reaktor wurde im Jahre 1942 kritisch. Ihm folgten zwei weitere in Hanford im Staate Washington und in Sa-

vannah in South Carolina. Aus den abgebrannten Brennelementen dieser Reaktoren wurde das Plutonium extrahiert, das in der Atombombe von Nagasaki wirksam war.

Bei diesen Reaktoren, die nur dem Zweck der Plutoniumerzeugung dienten, hat man durch kurze Brennzeiten dafür gesorgt, daß möglichst viel Pu 239 entstand. In den heutigen Leichtwasserreaktoren, die eine Verweilzeit von 2–3 Jahren für die Brennelemente haben, erhält man mehr Plutonium 240 und andere höhere Isotope. Dieses Plutonium ist als Bombenmaterial weniger geeignet. Erst in letzter Zeit haben die USA – wohl um die Gefahr der Verbreitung von Plutonium zu demonstrieren – angeblich eine Explosion mit solchem Plutonium ausgelöst.

Man nennt den Vorgang, bei dem mit Hilfe von Neutronen aus einem nicht spaltbaren Element – in diesem Fall U 238 – ein Kernbrennstoff entsteht, »Konversion«.

### *Thorium wird zum Kernbrennstoff*

Das in der Natur vorkommende Element Thorium 232 ist an sich kein Kernbrennstoff. Es geht unter Aufnahme eines Neutrons in sein unbeständiges Isotop Th 233 über, das sich seinerseits unter Abgabe von zwei Elektronen über das Element Protaktinium in spaltbares Uran 233 verwandelt. Dieses Isotop U 233 ist ein künstliches Element, das im Natururan nicht vorkommt. Es ist wie das U 235 ein Kernbrennstoff.

### *Das Brüten*

Die Konversion von U 238 in Plutonium und von Thorium in U 233 kann in besonders konstruierten Reaktoren so gestaltet werden, daß für jedes verbrauchte Uranatom ein neues beziehungsweise mehr als ein neues Brennstoffatom erzeugt wird. In diesem Fall spricht man vom »Brüten«. Bei dem Uran-Plutonium-Zyklus ist das Brüten aussichtsreich und wird auf der ganzen Welt bearbeitet (s. S. 141). Beim Einsatz von Thorium liegen die Verhältnisse

schwieriger. Bisherige Brütversuche waren nicht erfolgreich. Durch Einbeziehung des Thoriums in den Bereich der Kernbrennstoffe würde deren Verfügbarkeit beträchtlich erweitert.

### *Die Geschichte des Urans*

Uran und Thorium sind in ihrer Verwendung als technische Hilfsmittel seit langem bekannt. 1789, also im Jahr der Französischen Revolution, berichtete der Chemiker Martin Heinrich Klaproth vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften, er habe in der Pechblende – einem zu Joachimsthal in Böhmen vorkommenden Erz – einen gelblichbraunen Stoff gefunden und glaube, daß dieser ein bisher unbekanntes Element sei. Er nannte das Element Uranit, später Uranium.

In Wirklichkeit hatte Klaproth nur das Oxid des Urans, das $UO_2$, entdeckt. Erst 1841 gelang es dem Franzosen Eugène Melchior Péligot, daraus das Uranmetall (U) selbst zu isolieren. Pechblenden verwendete man schon sehr früh zur Herstellung von fluoreszierenden Gläsern und als Porzellanfarbe. In den Erzen, aus denen damals wertvolle Metalle wie Zink, Kupfer und Silber gewonnen wurden, war das Uranoxid eine höchst unwillkommene Verunreinigung.

Das eigentliche »Wunder« des Urans ereignete sich erst später, nämlich als der Franzose Antoine Henri Becquerel im Uran die natürliche Radioaktivität fand. Das war zur Zeit, als Röntgen seine berühmten Strahlen entdeckt hatte. Becquerel beobachtete, daß Uranverbindungen nachleuchteten, wenn sie vorher dem Sonnenlicht ausgesetzt worden waren.

Dann war es Marie Curie, die nach der geheimnisvollen Substanz suchte, die solche Strahlungen hervorrief. Zusammen mit ihrem Mann Pierre Curie fand sie 1898 in der Pechblende das radioaktive Element Radium, das bald zur Bestrahlung und Zerstörung von Krebsgeschwülsten verwendet werden sollte. Hierfür erhielten Marie und Pierre Curie gemeinsam mit Becquerel 1903 den Nobelpreis für Physik.

Das war die erste große Blütezeit des Urans. Die 0,14 g Radium, die in einer Tonne Pechblende enthalten sind, konnten damals nur sehr schwer gewonnen werden. Noch 1910 z.B. wurden trotz großer Bemühungen nur insgesamt 10 g Radium hergestellt.

In diesen ersten Jahren wuchs das Interesse am Uran. 1898 fand in Colorado der Amerikaner Brodon Cimbell im Carbonit, einem Mischerz, gleichfalls Uran. Da die Vorkommen aber hundert Meilen von der nächsten Bahnstation entfernt lagen, ließ man die Sache zunächst aus dem Auge. Erst 1913 setzte in den Staaten der Uranboom richtig ein. Die Erzgruben in Colorado errangen ein Weltmonopol. Joachimsthal sank zur Bedeutungslosigkeit herab. Ein Milligramm Radium kostete damals 500 Mark. Aber dieser erste »Goldrausch« währte nicht lange.

Nach dem Ersten Weltkrieg fanden die Belgier Uran im Erz ihrer Kupferminen im Kongo, und zwar mit der bemerkenswerten Konzentration bis zu 60%. Damit waren die Amerikaner geschlagen. Die Besitzerin der Kongominen, die Union Minière, schenkte den belgischen Krankenhäusern 8 g Radium.

### *Uran wird Kernbrennstoff*

Diese Situation änderte sich gleichsam über Nacht, als 1938 und 1939 die Nachricht von der geglückten Kernspaltung um die Welt ging. Uran war plötzlich hochbegehrt. Sowohl im Kongo als auch in Kanada lief der Abbau auf Hochtouren, zumal die Atombombenvorbereitungen in den USA Tausende von Tonnen des wertvollen Materials verschlangen.

Bis Kriegsende war dann alles, was mit dem Uran zu tun hatte, strengster militärischer Geheimhaltung unterworfen. Übrigens wurde auch in Joachimsthal in Böhmen bald wieder Pechblende abgebaut.

Die Geheimhaltung wurde erst aufgehoben, als die friedliche Nutzung der Kernenergie in den Vordergrund rückte. Immer noch waren die Belgier besonders begünstigt vor den Amerikanern, weil

sie nach dem damaligen Stand des Wissens die größten und besten Uranvorkommen besaßen.

Schließlich wurde auch in anderen Ländern nach Uran gesucht. Bedeutende neue Vorkommen sind zum Beispiel in Australien, Kanada und in Südafrika erschlossen worden. In Südafrika wiesen die gelben Halden, die von der Goldgewinnung übrig geblieben waren, mit ihren Farben von weitem auf einen Gehalt von Urandioxid hin.

### *Das erste deutsche Uranmetall*

In Deutschland war noch während des Krieges nach Uran gesucht worden. Einige Jahre danach setzte man diese Arbeit fort. Betrieben wurde sie von privaten Unternehmen, die vom Staat Zuschüsse bekamen. Beraten wurden sie von der Bundesanstalt für Bodenforschung, die damals unter der Leitung von Hans Closs stand. Closs war zugleich Vorsitzender des Arbeitskreises »Beschaffung und Aufbereitung von Uranerzen« der Deutschen Atomkommission.

Erste Aktivitäten entfaltete die Maximilianshütte Sulzbach/Rosenberg in Bayern. Am Rudolfsstein, einem Berg bei Weißenstadt im Fichtelgebirge, wurde sie mit interessanten Uranmengen fündig. Die chemische Fabrik von Heyden in Regensburg und die Lurgi in Frankfurt übernahmen die Verarbeitung zu Konzentraten.

Die Degussa stellte in Wolfgang bei Hanau das erste Uranmetall deutscher Herkunft nach dem Kriege her. Im Münchener Deutschen Museum wird der 30 cm lange Uranstab gezeigt, der 1956 dem damaligen Atomminister Franz Josef Strauß überreicht worden ist.

Im Mai 1956 hatte die Gewerkschaft Brunhilde in Rheinland-Pfalz bei Ellweiler Uranerze mit einem durchschnittlichen Urangehalt von 0,1% gefunden. Auf dieser Basis wurde eine Verarbeitungsanlage in der Steinau bei Birkenfeld errichtet. Dort sind seit 1960 etwa 150 kg $UO_2$ gewonnen worden. Um diese Zeit machte die Gewerkschaft Brunhilde Vorkommen bei Menzenschwand aus, die viel versprachen. Gegen deren Abbau bildete sich jedoch eine erste »Bürgerinitiative«. Mit Rücksicht auf landschaftliche Ge-

sichtspunkte erzwang die Gemeinde die Stillegung der Arbeiten, bevor der Wert des Vorkommens endgültig ermittelt werden konnte. Nach mehrjährigen gerichtlichen Auseinandersetzungen einigte man sich auf Erkundungsarbeiten in begrenztem Ausmaß.

Im Frühjahr 1977 beantragte die Esso Deutschland ein Schürfrecht bei Tirschenreuth in Bayern.

Das enttäuschende Ergebnis all dieser Bemühungen ist die Erkenntnis, daß größere Vorkommen an Uranerzen in Westdeutschland kaum zu erwarten sind.

Um so wichtiger erschien es, daß wir uns an der Suche nach Lagerstätten im Ausland beteiligten. Zu diesem Zweck wurden 1967 die Urangesellschaft mbH & Co. KG und 1968 die Uranerzbergbau GmbH gegründet, die beide von der Bundesregierung gefördert werden. Diese Gesellschaften sind inzwischen in erheblichem Ausmaß fündig geworden.

### *Vom Glühlicht zum Kernbrennstoff*

Thorium, das schon 1828 von dem Schweden Berzelius entdeckt wurde, ist ebenso wie das Uran ein radioaktives Element. Seine Radioaktivität wurde 1898 von Madame Curie und gleichzeitig von dem Deutschen Gerhard Carl Nathanael Schmidt zuerst beobachtet. In der Natur kommt es im Monazitsand gemeinsam mit den seltenen Erden vor. Es wurde interessant, als Auer von Welsbach 1881 sein Glühlicht erfand, das lange Zeit in Verbindung mit Koksofengas ein beliebter Beleuchtungskörper war.

Neue Bedeutung bekam das Thorium, als im Zweiten Weltkrieg die Fischer-Tropsch-Synthese zur Herstellung von Benzin große Mengen an Thoriumoxid als Katalysator benötigte. Später wurden freilich wirksamere Katalysatoren gefunden.

Als man nach dem Krieg sah, daß Thorium ebenso wie Uran als Kernbrennstoff in Betracht kam, wurden erneut Bohrungen in aller Welt vorgenommen. Dabei sind große Vorkommen in Norwegen, Brasilien, Indien und vielen anderen Ländern entdeckt worden.

## *Die Anreicherung des U 235*

Da alle Uranisotope dieselbe Ordnungszahl 92 haben, unterscheiden sie sich nicht in ihren chemischen Reaktionen. Deshalb können sie nur physikalisch getrennt oder angereichert werden. Wegen des sehr kleinen relativen Massenunterschieds der verschiedenen Isotopen bedarf es dazu spezifischer Methoden. Normale Trennmethoden, wie sie bei der Reindarstellung von anderen Metallen üblich sind, bleiben in diesem Fall unwirksam.

Als die Amerikaner sich dazu entschlossen, die Kernspaltung für militärische Zwecke zu nutzen, mußten sie zunächst dieses Anreicherungsproblem lösen. Gemeinsam mit den Engländern haben sie lange das Geheimnis der Gewinnung von hochangereichertem Uran 235 bewahrt und bis heute noch nicht alle Einzelheiten ihres sogenannten Diffusionsverfahrens preisgegeben. Frankreich mußte bei der Entwicklung seiner »Force de frappe« dieses Verfahren selbständig nachentwickeln, obwohl in den letzten beiden Jahrzehnten schon manche Einzelheiten bekannt geworden waren. Dasselbe gilt für die UdSSR.

Alle technisch bedeutsamen Anreicherungsverfahren, die gegenwärtig bekannt sind, arbeiten mit dem gasförmigen Uranhexafluorid ($UF_6$). Dieses Gas entsteht durch Umsetzung von Urandioxid ($UO_2$) mit Fluorwasserstoff und Fluor. Dieses sogenannte Konversionsverfahren war schon während des Krieges in Leverkusen ausgearbeitet worden. Es stand also in Deutschland zur Verfügung. Uranhexafluorid ist bei normaler Temperatur fest, erst bei mehr als 56 °C geht es in gasförmigen Zustand über.

Beim Gasdiffusionsverfahren streicht $UF_6$ an porösen Membranen vorbei. Die Poren dieser Membranen dürfen nur einige hunderttausendstel Millimeter Durchmesser haben. Auf der einen Seite einer solchen Membran herrscht Unterdruck. Deshalb durchdringt das Uranhexafluorid die Poren. Die leichteren $UF_6$-Teilchen, in denen U 235 gebunden ist, haben bei der gleichen Temperatur eine höhere Geschwindigkeit als die Teilchen, die U 238 enthalten. Darum wandern sie durch die porösen Membranen leichter hin-

durch als die schwereren Teilchen von U 238. Auf diese Weise werden die beiden Uranisotope getrennt, wenn auch der Effekt, der der Wurzel aus dem Verhältnis der Massen (~ 1,004) proportional ist, in einer einzigen Stufe sehr klein bleibt. Es müssen mehrere tausend Stufen hintereinandergeschaltet werden, um einen hohen Anreicherungsgrad zu erreichen. Der apparative Aufwand wie auch der Energiebedarf, mit dessen Hilfe das Uranhexafluorid durch die vielen Stufen getrieben wird, ist sehr groß (Bild 6).

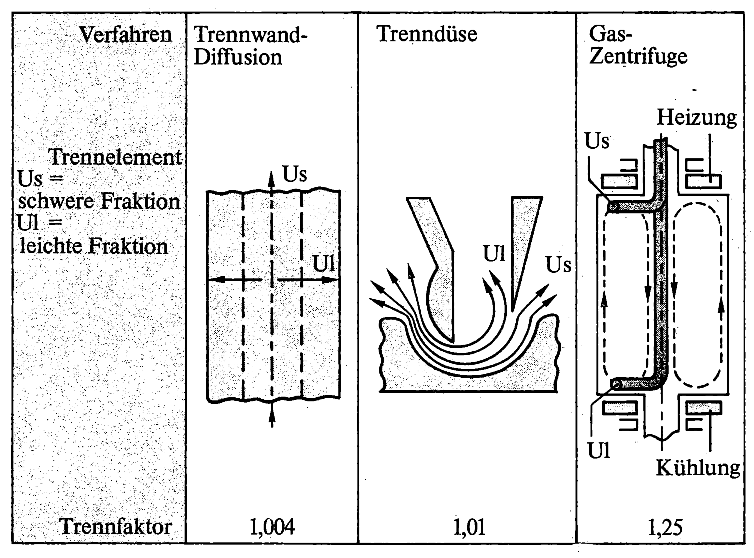



Bild 6 Verfahren der Urananreicherung

Der Stromverbrauch bei den großen Anlagen in USA war so enorm, daß während des Krieges in Deutschland eine solche Elektrizitätsmenge gar nicht greifbar gewesen wäre.

*Eine deutsche Entwicklung*

Heute arbeitet man verstärkt an dem sogenannten Zentrifugenverfahren, das von Wilhelm Groth und Paul Harteck am Physika-

lisch-Chemischen Institut in Hamburg schon 1941 bearbeitet wurde. Die dazu erforderlichen Ultrazentrifugen wurden damals von Konrad Beyerle bei der Firma Anschütz in Kiel entwickelt. Damit gelang es 1942, 100 g schwachangereichertes Uran herzustellen. Bei diesem Verfahren wird das gasförmige Uranhexafluorid durch eine Zentrifuge geleitet, die sich mit hoher Geschwindigkeit dreht. Die schwereren Teilchen des U 238 werden nach außen geschleudert. Das leichtere Isotop U 235 reichert sich im Innern an. Der Trennfaktor hängt hier von der Massendifferenz der schweren und leichten Gasteilchen ab, ist also größer als beim Diffusionsverfahren.

Infolgedessen kann dabei mit einer geringeren Zahl hintereinandergeschalteter Stufen und kleinerem Energieaufwand die gewünschte Anreicherung erzielt werden. Allerdings sind die Kapazitäten der Trenneinheiten im Gegensatz zum Diffusionsverfahren sehr klein. Für einen Durchsatz von technischen Mengen braucht man bis zu einer Million Zentrifugen (Bild 6).

Sie sind überdies wegen der hohen Rotationsgeschwindigkeit starken mechanischen Belastungen ausgesetzt. Der apparative Aufwand ist demnach sehr groß, der Energiebedarf beträgt jedoch höchstens ein Zehntel jenes des Gasdiffusionsverfahrens.

Als 1955 in Deutschland Pläne zur Urananreicherung erwogen wurden, waren wir uns darüber klar, daß wegen der großen Mengen und des hohen Preises des elektrischen Stroms der Weg der Gasdiffusion nicht gangbar war. Wir griffen bald gern auf die bescheidenen Anfänge zurück, die bei uns einst mit den Zentrifugen gemacht worden waren.

Die Deutsche Atomkommission hatte schon in ihren ersten Sitzungen 1956 dieses Problem diskutiert. Zu diesem Zweck wurde ein Arbeitskreis »Brenn- und Baustoffe für Kernreaktoren« gegründet.

## *Ein befürchteter »Atomschock«*

1955 kam aus der UdSSR der deutsche Physiker Gernot Zippe zurück; er galt als Kenner des Zentrifugenverfahrens und nahm bei der Degussa seine Arbeit wieder auf. Als das bekannt wurde, gab es einige Aufregungen. Die Amerikaner befürchteten, daß unter diesen Voraussetzungen das Zentrifugenverfahren rascher zum Erfolg führen würde – auf diese Weise konnte hochangereichertes Uran womöglich leichter zugänglich werden. Auf amerikanischen Druck verfügte die Bundesregierung darum die Geheimhaltung. Das blieb der einzige Fall in der deutschen Kernenergieentwicklung, in dem ein Projekt für geheim erklärt wurde.

Aus der Zeit des Dritten Reiches wußten wir noch zu gut, daß Projekte und Ergebnisse, die der Geheimhaltung unterlagen, der sachlichen Kritik entzogen waren und deshalb schlecht voranzukommen pflegten. Zudem erinnerten wir uns vieler Unannehmlichkeiten, die uns nach dem Krieg aus solchen »geheimen Kommandosachen« erwachsen waren. Schon hieß es in der Weltpresse denn auch: »Atomschock durch deutsche Erfindung.«

Die Geheimhaltung des Zentrifugenverfahrens hat der Entwicklung sehr geschadet. Die Degussa stellte ihre Arbeiten ein. Auch die Bonner Arbeitsgruppe machte jetzt nicht mehr weiter. Es dauerte vier Jahre, bis die Bundesregierung die Schwierigkeiten soweit beseitigt hatte, daß im August 1964 die »Gesellschaft für Kernverfahrenstechnik« (GKT) mit dem Sitz in Jülich gegründet werden konnte. Eigentümer war der Bund, der sich zunächst jedoch ohne Berater aus dem industriellen Bereich schwer tat.

Die Deutsche Atomkommission, die sich mit dem Geheimhaltungsproblem grundsätzlich nicht auseinanderzusetzen beabsichtigte, wurde nicht mehr informiert. Erst als später bekannt wurde, daß England und Holland auf diesem Gebiet erfolgreich waren, erwachte neues Interesse bei uns.

1969 wurde die Uranit GmbH gegründet, an der sich die Nukem und die Gelsenberg AG mit je 40%, Hoechst mit 20% beteiligten. Diese Gesellschaft sollte eine Zentrifugenanlage bauen und betrei-

ben. Indessen zeigte sich, daß in Jülich doch gewisse Fortschritte erzielt worden waren. Durch Vermittlung der Bundesregierung kam es 1971 zur Gründung der Urenco, an der Großbritannien durch die British Nuclear Fuels Ltd. (BNFL), Holland durch die Ultra-Centrifuge Nederland N.V. und Deutschland durch die Uranit zu je einem Drittel beteiligt sind.

Aufgabe der Urenco ist es ebenfalls, Zentrifugenanlagen zu bauen und zu betreiben. Daneben wurde die Centec (Gesellschaft für Zentrifugentechnik mbH, Bensberg) gegründet. Sie hat die Weiterentwicklung und vor allem die Herstellung der Zentrifugen übernommen. An der Centec sind auf britischer Seite wiederum die British Nuclear Fuels Ltd. (BNFL), auf holländischer Seite die Ultra-Centrifuge Nederland N.V. und auf deutscher Seite die Gesellschaft für Nuklear-Verfahrenstechnik mbH (GNV) beteiligt. Gesellschafter der GNV sind die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) und Interatom. Durch diese Gründung sollten die in den drei Ländern gewonnenen Erfahrungen gemeinsam ausgewertet werden. Gleich zu Anfang beschloß man, die in Jülich erarbeiteten Konstruktionen sofort in Almelo in Holland in einer Prototypanlage zu verwenden. Die Urenco hat inzwischen damit begonnen, zwei Großanlagen mit einer gesamten Trennleistung von 2000 t Uran pro Jahr in Almelo und Capenhurst zu errichten.

### *Das Trenndüsenverfahren*

In den ersten Jahren der deutschen Nachkriegsaktivität entstand eine dritte Anreicherungsmethode, das Trenndüsenverfahren (Bild 6). Erwin W. Becker, der Leiter des Instituts für Kernverfahrenstechnik in Karlsruhe, hat es entwickelt. Bei diesem Verfahren wird ein Gemisch von Uranhexafluorid und Helium oder Wasserstoff mit hoher Geschwindigkeit durch eine Düse gedrückt und dann der austretende Gasstrahl um 180°C umgelenkt. So entsteht ein Trenneffekt, der wirkungsvoller ist als bei der Diffusion, aber geringer als bei der Zentrifuge. Die Steag hat sich dieses Verfahrens angenommen und fördert die Arbeiten bis zur Produk-

tionsreife. Ein Nachteil ist zur Zeit noch der hohe Energiebedarf, obwohl inzwischen große apparative Fortschritte erzielt worden sind.

Dieses Trenndüsenverfahren ist übrigens Teil des heute so umstrittenen Kernenergievertrages zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Brasilien.

*Laser*

In den USA laufen neuerdings Versuche, Laserstrahlen zur Trennung der Uranisotopen einzusetzen. Die scharf definierten Wellenlängen dieses Lichts gestatten eine selektive Anregung des einen Isotops, ohne daß das andere davon berührt wird. Wenn man das Isotop U 235 auf diese Weise aktiviert hat, kann es von dem nichtaktivierten U 238 durch chemische Reaktionen abgetrennt werden. Die Anregung muß in einem exakt isotopenspezifischen Wellenbereich geschehen, da sonst die erforderliche hohe Energieansammlung nicht erreicht wird.

Eine andere Idee besteht darin, das angeregte U 235 durch eine weitere Bestrahlung mit Laserstrahlen bestimmter Frequenz bis in den Ionisationszustand zu bringen; dann werden im elektrischen Feld die U-235-Ionen vom nichtionisierten U-238-Anteil getrennt. Dieses Verfahren befindet sich allerdings erst im Stadium der Entwicklung.

Im Sommer 1977 haben die Franzosen berichtet, daß ihnen ein neues chemisches Trennverfahren gelungen sei. Nach den wenigen Informationen werden sogenannte Kronenverbindungen verwendet, die mit dem Uran Komplexverbindungen eingehen. Kronenverbindungen sind in der Chemie bekannt als zyklische organische Verbindungen, die in der Lage sind, Kationen komplex zu binden.

*Feinarbeit der Brennelementeherstellung*

Die Kernbrennstoffe, die in Form von Uranoxid ($UO_2$), metallischem Uran oder Urankarbid vorliegen, müssen zur Erzeugung der

Energie im Reaktor in Röhrenkonstruktionen so eingebaut werden, daß im Innern sowohl ein Optimum des Neutronenflusses als auch eine befriedigende Wärmeabführung stattfinden kann. Material und Hüllrohre werden so gewählt, daß alle beim Kernzerfall entstehenden Zerfallsprodukte durch die Rohrwandung zurückgehalten werden. Außerdem muß das Hüllrohrmaterial einen möglichst kleinen Neutroneneinfang haben.

Der Kernbrennstoff – sofern es sich, wie in Leichtwasserreaktoren üblich, um $UO_2$ handelt, wird in Form von Tabletten eingesetzt. Diese sogenannten Pellets haben bei Leichtwasserreaktoren z.B. einen Durchmesser von 9–13 mm und eine Höhe von 10 mm. Sie werden durch Pressen und anschließendes Glühen bei 1600°C auf eine Dichte gebracht, die rund 95% der theoretischen Dichte des $UO_2$ entspricht. Danach erhalten sie durch mechanische Bearbeitung den vorgesehenen Durchmesser und werden durch Schweißen gasdicht in die Rohre eingeschlossen.

Viele solcher Rohre (»pins«) werden schließlich zu Brennelementen gebündelt, die wiederum zu einigen hundert in vorausberechneter Anordnung das Core des Kernreaktors bilden.

Diese Anordnung ist Voraussetzung für die Optimierung des Neutronen- und Wärmeflusses. Brennelemente verbleiben immerhin zwei bis drei Jahre im Reaktor und müssen alle Temperaturschwankungen aushalten. Sie müssen gasdicht bleiben und dürfen ihre Form nicht im geringsten verändern. Die Brennelemente werden innerhalb des Cores von Zeit zu Zeit umgesetzt, um einen optimalen Abbrand zu erzielen. Innerhalb der Brennelemente und zwischen ihnen sitzen frei bewegliche Regelstäbe, mit denen jederzeit die Regelung des Neutronenflusses und ein Abschalten des Reaktors erreicht werden kann.

Die Herstellung der Kernbrennstoffe und der Hüllrohrmaterialien fordert hochentwickelte metallurgische und technische Erfahrung. Die Degussa in Frankfurt, die von jeher Reindarstellung und Verarbeitung edler Metalle betreibt, hat dieses Problem auch von der industriellen Seite her erfolgreich gelöst.

Bedarf an Brennelementen aus einheimischer Produktion trat

erstmals beim Bau des FR 2 in Karlsruhe auf. Sie wurden bei der Degussa hergestellt.

*Der Bedarf wird größer*

Auch die ersten Brennelemente aus angereichertem Ausgangsmaterial, das später aus den USA kam, fertigte die Degussa für einen Argonaut-Forschungsreaktor von Siemens in München.

Als die Produktion ausgeweitet werden mußte, gründete die Degussa 1960 – zusammen mit der Metallgesellschaft und der Rio Tinto Zinc – die Nukem mit Sitz in Wolfgang bei Hanau. Die Nukem, zu der später das RWE als Gesellschafter hinzukam und heute 45% der Anteile besitzt, spielt seitdem eine maßgebliche Rolle in der deutschen kerntechnischen Industrie.

Herstellung und Konstruktion der Brennelemente aber können nicht, wie andere Komponenten des Brennstoffkreislaufes, für sich allein gesehen werden. Sie sind vielmehr von der Auslegung des Reaktors und der beabsichtigten Betriebsweise bestimmt. Es ist daher verständlich, daß die deutschen Reaktorbaufirmen wie Siemens und AEG von Anfang an auch an eine eigene Brennelementefertigung dachten. Dank der vielfältigen Bemühungen hatten wir so in Deutschland – gefördert von der Bundesregierung – sehr früh eine eigene Produktion von Brennelementen. Der Nutzen erwies sich bald: Wurden die Brennelemente für das Versuchsatomkraftwerk in Kahl (VAK) und das spätere Kernkraftwerk Gundremmingen (KKG) noch aus den USA importiert, so waren wir hierzulande nun im Begriff, konkurrenzfähig zu werden.

Auch die eigene Herstellung von Hüllrohren wurde akut: Sie sind aus Stahl, Zirkon, Magnesium oder Aluminium. Als wichtigster Baustoff hat sich das Zircaloy, eine Legierung von Zirkon mit 2–4% Zinn, durchgesetzt. Solche Rohre können heute im technischen Ausmaß bezogen werden. Die Kosten sind allerdings beträchtlich, sie betragen etwa die Hälfte der Kosten für die Brennelemente. Ein 1200-MW-Leichtwasserreaktor vom Typ Biblis enthält etwa 200000 m solcher Zircaloyrohre.

Für die Brems- und Regelstäbe im Reaktor benötigt man Materialien, welche die Neutronen möglichst vollständig absorbieren; es sind dies z.B. Bor und Cadmium.

## *Die Moderatoren*

Die als Moderatoren im Reaktor verwendeten Substanzen – also Wasser, Schweres Wasser oder Graphit – müssen frei von Beimengungen sein, die Neutronen absorbieren. Deshalb muß z.B. der Graphit, der oft Borverbindungen enthält, sorgfältig gereinigt werden.

Besondere Aufmerksamkeit wurde sowohl bei uns als auch in den USA der Gewinnung von Schwerem Wasser zugewandt. Deuterium ($D_2$) ist im normalen Wasserstoff ($H_2$) als schweres Isotop in einer Menge von 0,014% enthalten. Die deutschen Atomphysiker hatten bei ihren ersten Arbeiten während des Krieges Schweres Wasser ($D_2O$) aus Wasserelektrolysen in Norwegen bezogen. Das aber wurde nach dem Krieg zu unwirtschaftlich.

Die Amerikaner haben bei ihren Großanlagen ein Isotopenaustauschverfahren benutzt, das auf der Temperaturabhängigkeit des Austauschgleichgewichtes von Wasserstoff und Deuterium beruht. Sie wählten den Isotopenaustausch zwischen Schwefelwasserstoff ($H_2S$), in dem gleichfalls das Deuterium gebunden ist, und Wasser ($H_2O$).

$$HDS + H_2O \rightleftarrows H_2S + HDO$$

Für dieses Verfahren werden jedoch große Mengen Schwefelwasserstoff benötigt. Diese aber bringen Korrosionsgefahren mit sich und belästigen die Umwelt. Umfangreiche Anlagen wurden damals in den Vereinigten Staaten, später auch in Frankreich und Kanada errichtet.

Es gibt überdies ähnliche Austauschverfahren, z.B. zwischen Wasserstoff und Ammoniak

$$HD + NH_3 \rightleftarrows H_2 + NH_2D$$

oder zwischen Wasser und Wasserstoff

$$HDO + H_2 \rightleftarrows H_2O + HD$$

Diese Verfahren sind besonders von der Firma Uhde, Dortmund, und der Bamag, Berlin, untersucht worden. Freilich setzen sie beträchtliche Mengen an Wasserstoff beziehungsweise Ammoniak voraus. Aus einer Ammoniakanlage mit einer Kapazität von 1000 Tonnen pro Tag lassen sich lediglich 60 Tonnen $D_2O$ im Jahr gewinnen, und das auch nur mit sehr großem apparativem Aufwand.

Die Trennung des $D_2O$ von dem hohen Überschuß an $H_2O$ durch Destillation fordert wegen der Verdampfungswärme einen enormen Wärmeaufwand. Außerdem liegen die Siedepunkte von $H_2O$ mit 100 °C und von $D_2O$ mit 101,4 °C sehr nahe beieinander. Diese Methode empfiehlt sich nur dann, wenn im Laufe der Herstellung von Schwerem Wasser auf anderem Wege schon eine größere Vorkonzentration erreicht wurde.

Mehr dagegen versprach die Tieftemperaturdestillation flüssigen Wasserstoffs. Eine solche Anlage mit einer Kapazität von sechs Tonnen pro Jahr wurde von den Hoechster Farbwerken aus eigenen Mitteln zusammen mit der Linde AG gebaut. Der benötigte Wasserstoff kam aus dem Kreislauf einer Anlage zur Synthese von Ammoniak. Er wurde verflüssigt und der schwere Wasserstoff durch Destillation getrennt. Der Siedepunkt von $H_2$ beträgt $-253{,}8$ °C, der von $D_2$ $-249{,}6$ °C. Bei dieser geringen Siedepunktdifferenz fordert die Destillation große Trennschärfe. Der abgetrennte schwere Wasserstoff ($D_2$) wurde mit Sauerstoff zu $D_2O$ verbrannt.

Mit den Erfahrungen in Hoechst errichtete die Linde AG 1962 in Indien eine Anlage mit einer Kapazität von 14 Tonnen. Die Hoechster Versuchsanlage wurde stillgelegt, nachdem sich herausgestellt hatte, daß sie wegen des plötzlich gefallenen Preises für Schweres Wasser in den USA nicht mehr konkurrenzfähig war. Die Wasserstoffdestillation wurde auch bei Sulzer in der Schweiz und bei der Air Liquide in Frankreich angewandt. Die Herstellung von Schwerem Wasser verlor in Deutschland bald an Interesse, als wir die Natururan-Schwerwasserlinie aufgaben. In letzter Zeit hat die Firma Uhde Aufträge für Schwerwasseranlagen bekommen, die nach dem Ammoniakaustauschverfahren arbeiten. Für Länder wie

Kanada und Argentinien, die bei der Natururanlinie bleiben, ist die Herstellung von Schwerem Wasser natürlich nach wie vor wichtig.

### *Wie lange reicht das Uran?*

Bei oberflächlicher Betrachtung erscheinen die aus dem Uran zu gewinnenden Energiemengen außerordentlich groß. Aus einem Kilogramm Uran 235 können in einem Leichtwasserreaktor jetziger Konstruktion etwa 22 Millionen Kilowattstunden gewonnen werden. Ein Kohlekraftwerk benötigt dazu 2500 Tonnen Steinkohle.

Der Uranvorrat der Erde liegt bei ca. 2–3 Millionen Tonnen. Es ist selbstverständlich möglich, daß diese Mengen durch zusätzliche Prospektierung noch größer werden, und daß man auch lernt, bisher als unwirtschaftlich betrachtete Uranerze noch nutzbringend aufzuarbeiten.

Da im Natururan nur 0,7 % Uran 235 enthalten sind, stehen also vielleicht 3 Millionen Tonnen × 0,7 Prozent entsprechend ca. 21 000 Tonnen Uran 235 als Weltvorrat zur Verfügung. Das entspricht einer Menge von ca. 50 Milliarden Tonnen Steinkohle. Das Plutonium, das in den Wiederaufbereitungsanlagen aus den Brennelementen der Leichtwasserreaktoren abgeschieden wird, entspricht zusammen mit dem in den abgebrannten Brennelementen verbleibenden Resturan ungefähr weiteren 25 Milliarden Tonnen Kohle. Der Gesamtvorrat an Kernbrennstoffen aus Uran und konvertiertem Plutonium repräsentiert also den Gegenwert von 75 Milliarden Tonnen Steinkohle.

Wollte man in der ganzen Welt auch nur 20 Prozent des gesamten Energieverbrauchs durch Kernenergie aus Leichtwasserreaktoren ersetzen, so würde dieser Vorrat an Kernbrennstoffen doch nur einige Jahrzehnte reichen. Das wäre sicher nur ein bescheidenes Ergebnis all unserer Mühen, die soviel technischen und wirtschaftlichen Aufwand fordern. Darum dürfen wir bei dieser ersten Stufe nicht stehenbleiben. Leichtwasserreaktoren können wirklich nur als Auftakt der Kernenergieentwicklung betrachtet werden.

Der Schnelle Brüter sollte die nächste Stufe sein (s. S. 141).

Bei Einsatz des Brutprozesses, geeigneter Aufbereitung und Rückführung des Plutoniums in den Reaktor steht also aus dem gesamten Natururanvorrat der Erde ein Vielfaches zur Energieerzeugung zur Verfügung. Damit nämlich würden jene 2–3 Millionen Tonnen des Gesamtvorrats – nach dem jetzigen Stand des Wissens – etwa 60mal länger ausreichen.

So könnten die Schnellen Brüter die Uranvorräte der Erde über mehrere Jahrhunderte strecken. Sie mehr und mehr einzusetzen, scheint demnach ein Gebot der Vernunft.

Durch den Einsatz von Thorium könnte die Reichweite der Kernbrennstoffe noch einmal beträchtlich erweitert werden.

### *Der Idealfall: die Kernfusion*

Bevor diese Kernbrennstoffe, die durch Kernspaltung Energie freisetzen, verbraucht sind, glückt es vielleicht, das Problem der gesteuerten Kernfusion – d.h. die Verschmelzung von Wasserstoffatomen zu Helium, ähnlich den Vorgängen bei Entstehung der Sonnenenergie – technisch zu lösen (s. S. 153). In der Wasserstoffbombe ist dieses Problem technisch gelöst. Wenn es gelänge, diese Reaktion im Reaktor ablaufen zu lassen, sie also tatsächlich im Sinne allmählicher Freisetzung ihrer riesigen Möglichkeit zu steuern, dann wäre das der Idealfall einer unerschöpflichen Energieversorgung auf Erden.

Das grundlegende Experiment der Kernumwandlung von Hahn und Strassmann hat eine Fülle von Möglichkeiten eröffnet. Der erste Schritt – die Energieerzeugung im Leichtwasserreaktor – ist getan. Er gehört zum Stand der Technik. Alles andere: die Anreicherung, der Brennstoffkreislauf ebenso wie die Entwicklung der Brüter und fortgeschrittener Konverter – all das befindet sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Viele Teilprobleme sind noch zu lösen.

# Kapitel 6
# REAKTOREN MIT NATURURAN UND SCHWEREM WASSER

Als wir in der Bundesrepublik Deutschland uns zum Bau des FR 2 – eines Reaktors mit Natururan und Schwerem Wasser als Moderator und Kühlmittel – entschlossen, hatten derartige Systeme schon eine lange Vorgeschichte. Es lag nahe, diesen Reaktortyp zu wählen, zumal angereichertes Uran lange Zeit nicht greifbar war und seine Lieferung auch heute noch an politische Bedingungen geknüpft wird. Die Gewinnung von Schwerem Wasser dagegen ist problemlos und seine Verwendung uneingeschränkt möglich.

So sah auch die während des Krieges in Deutschland in Angriff genommene Reaktorlinie schon Schweres Wasser als Moderator vor. Die Vereinigten Staaten, die angesichts ihrer unbegrenzten Möglichkeiten alle überhaupt denkbaren Wege beschritten, nahmen bereits 1944 den ersten schwerwassermoderierten Reaktor mit Natururan in Betrieb. Schließlich wurden in vielen Ländern solche Reaktoren, allerdings in kleinerem Maßstab, errichtet. Neben Frankreich und Großbritannien waren das 1951 Norwegen, 1954 Schweden und 1961 Dänemark. Dabei handelte es sich aus heutiger Sicht nur um Testversuche, wenn auch mit großem finanziellem Aufwand. Der FR 2 in Karlsruhe war also keine Pionierleistung mehr. Er hatte seine Bedeutung vielmehr darin, daß die deutsche Kerntechnik in Wissenschaft und Industrie sich an einem ersten Gesellenstück versuchen wollte.

Nach diesem ersten Schritt begann Siemens mit dem Bau eines

größeren Natururan-Schwerwasserreaktors in ähnlicher Bauart; er bekam den Namen Mehrzweckforschungsreaktor (MZFR). Es war ein Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 50 MW, der ebenfalls in Karlsruhe entstand.

Dieser Reaktor sollte, wie seine Bezeichnung zum Ausdruck brachte, verschiedenen Zwecken dienen, von denen aber nur einer später wirklich verfolgt wurde, nämlich Strom zu erzeugen, was beim FR 2 nicht vorgesehen war.

Der Vorteil dieses zweiten Natururanreaktors lag zunächst darin, daß er einen elektrischen Teil enthielt, so daß die Stromabgabe an ein elektrisches Netz über einen längeren Zeitraum erprobt werden konnte. Überdies ließen sich seine Brennelemente während des Betriebes auswechseln. Das war gleichfalls neu.

Der MZFR wurde am 29. September 1965 kritisch. Ein Jahr darauf begann er mit der Stromlieferung. Über die Zweckmäßigkeit dieses Baus wurde bei uns – wie über alles – lange beraten, zumal inzwischen die Leichtwasserreaktoren im Kommen waren. Es hat der Reaktorentwicklung bei Siemens sicher sehr genutzt, an diesem Bau vor allen Dingen die Betriebssicherheit einer mit Sattdampf betriebenen Turbine studieren zu können.

Wegen seiner geringen elektrischen Leistung war dieser Reaktor – trotz großer Betriebssicherheit und hoher störungsfreier Benutzungsdauer – jedoch nicht konkurrenzfähig. Nachdem er seinen Zweck mehr als ein Jahrzehnt erfüllt hat, soll er Anfang der 80er Jahre stillgelegt werden. Eine solche Abstellung aus rein wirtschaftlichen Motiven ist zwar zu bedauern, gleichwohl aber verständlich.

Aufgrund der guten Erfahrungen mit dem MZFR hat Siemens 1962 einen Auftrag aus Argentinien bekommen. Dort wurde in Atucha ein Natururan-Schwerwasserreaktor mit einer Leistung von 340 MW errichtet, der 1974 kritisch wurde und seitdem ohne Beanstandung in Betrieb ist.

### *Druckröhren – nicht bewährt*

Weniger glücklich verlief das Projekt eines weiteren schwerwassermoderierten Reaktors, den Siemens in Niederaichbach mit einer Leistung von 100 MW errichtete. Anstelle eines Druckkessels war er mit einem senkrecht angeordneten Druckröhrensystem ausgestattet, mit Schwerem Wasser moderiert und mit Kohlendioxidgas gekühlt.

Eine Druckröhrenkonstruktion war deshalb gewählt worden, weil man annehmen mußte, bei Druckkesseln mit wachsender Größe an die Grenze ihrer Entwicklungsmöglichkeit zu stoßen. Der Natururan-Schwerwasserreaktor benötigt ein größeres Core als ein Reaktor mit angereichertem Uran. Inzwischen hat sich bei der Weiterentwicklung des CANDU-Reaktors gezeigt, daß es auch beim Druckröhrensystem offenbar Grenzen gibt.

Über die Konstruktion in Niederaichbach wurde viel diskutiert. Man hielt sie schon für überholt, als der Reaktor noch gar nicht fertig war, und dachte sogar daran, die Montage einzustellen. Um seine Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, wurde der Reaktor schließlich statt mit Natururan mit auf 1,15% angereichertem Uran ausgestattet.

In Niederaichbach hat sich die Druckröhrenkonstruktion also nicht bewährt. Nach mancherlei Reparaturen und trotz vieler Umbauten erreichte er nur etwa ein Drittel der vorgesehenen elektrischen Leistung und wurde 1974 stillgelegt. Dieses Ereignis hat in der Öffentlichkeit zwar lebhafte Diskussionen ausgelöst. Im Vergleich zu der Bedeutung, die der Natururan-Schwerwasserreaktor in der ganzen Welt noch heute hat, und mit Rücksicht auf die Rückschläge, die mit allen Reaktortypen in anderen Ländern hingenommen werden mußten, war jedoch das Lehrgeld in Niederaichbach gering.

Wenn in der Bundesrepublik soviel – und oft so unsachlich – über die Entwicklungskosten der Kernenergie gestritten wird, so sollte man bei seinem Urteil gerecht bleiben. Ohne Rückschläge oder Mißerfolge kann eine technische Entwicklung solchen Umfangs nicht durchgeführt werden.

Mit dieser Erfahrung scheint die Natururan-Schwerwasserlinie hierzulande einstweilen abgeschlossen zu sein. Immerhin ist durch den Bau in Argentinien bewiesen worden, daß die technischen Voraussetzungen dazu auch in Deutschland gegeben sind.

Der Reaktor Atucha 2, der inzwischen von einer kanadischen Firma gebaut wird, ist gleichfalls ein Natururan-Schwerwasserreaktor.

In Kanada liegen die Verhältnisse ganz anders, so daß dort auch die Entwicklung der Natururan-Schwerwasserlinie bis heute weitergetrieben wurde. Das rohstoffreiche Land hat riesige Uranlagerstätten und ist deshalb von internationalen Entscheidungen über die Kernbrennstoffverwendung unabhängig. Trotz seines großen Energiereichtums in Form von Erdgas, Erdöl, Kohle und Ölschiefer – auch Wasserkraft ist in großem Maße vorhanden – ist dort das Interesse an der Kernenergie nie erlahmt. Dabei wird größter Wert auf Selbständigkeit gegenüber dem Nachbarn USA gelegt.

Inzwischen sind auch in Kanada große eigene Schwerwasseranlagen gebaut worden, so daß das Land auf lange Zeit in seiner Energieversorgung autark bleiben kann.

Es wurden mehrere große und kleine Kernreaktoren entwickelt, wie sie nicht nur in Kanada, sondern auch in Indien, Argentinien und Pakistan eingesetzt werden, bis man schließlich mit dem CANDU-Typ in eine neue Phase eintrat.

### *CANDU-Typ ohne Druckgefäß*

Bei der CANDU-Konstruktion sind die Brennelemente in waagerechten Druckröhren untergebracht. Sie befinden sich in einem Reaktorgefäß, das als Moderator Schweres Wasser enthält und nicht für den Betriebsdruck des Reaktors ausgelegt sein muß.

Inzwischen ist eine größere Zahl von Kraftwerken dieser Art errichtet worden. Zunächst war es das Pickering-Werk am Ontariosee mit vier Einheiten von je 514 MW, die zwischen 1971 und 1973 in Betrieb kamen und ausgezeichnet arbeiten. Im Bau befindet sich ein weiteres Werk mit vier Einheiten mit je 732 MW und ein anderes

mit zwei Einheiten zu je 750 MW. Sie alle sollen bis 1979 in Betrieb sein. Weitere Einheiten sind geplant. Insgesamt sind auf der Welt zur Zeit CANDU-Reaktoren mit rund 20000 MW in Betrieb, im Bau oder in der Planung.

Bei einem Druckröhrenreaktor des CANDU-Typs liegen die drucktragenden Bauelemente im Innern des Reaktorcores. Sie müssen einerseits den Betriebsdruck des Reaktors aushalten und sind deshalb aus Stahl gefertigt, andererseits sind sie der intensiven Neutronen- und Gammastrahlung ausgesetzt. Sie absorbieren viele Neutronen und werden durch die Strahlung stark beansprucht, was die Betriebssicherheit beeinträchtigt.

Das ist auch der Grund dafür, daß man bei der Konstruktion von Leichtwasserreaktoren in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland anstelle solcher Druckröhrensysteme Druckkessel bevorzugt, die sowohl die Brennelemente als auch das Kühlmittel enthalten. Bei dieser Anordnung wird die Neutronen- und Gammastrahlung durch das Wasser weitgehend abgeschirmt, so daß sie die drucktragende Gefäßwand weniger beanspruchen.

Aber Druckkessel lassen sich nur bis zu bestimmten Größen – vor allem serienmäßig – so fertigen, daß ihre Betriebssicherheit gewährleistet ist. Bei den Leichtwasserreaktoren heutiger Größe hat man möglicherweise eine Grenze erreicht. Bei einem Reaktor vom Typ Biblis mit 1200 MW hat der Reaktorkessel bei einem Durchmesser von 5,5 m ein Gewicht von 500 t. Solche Dimensionen können wohl kaum noch überschritten werden. Beim Natururanreaktor müßte ein solcher Druckkessel noch sehr viel größer sein. Das ist wohl der Hauptgrund, daß die Kanadier bei ihrem Druckröhrentyp geblieben sind. Der die Druckröhren umgebende und das Schwere Wasser enthaltene Reaktorkessel steht unter Normaldruck. Seine Fertigung ist nicht so problematisch wie die des Druckkessels, jedoch infolge der Größe sehr kostspielig. Aus diesem Grund sind die Kanadier bei ihrem Reaktortyp über eine Größe von 750 MW noch nicht hinausgegangen.

Die letzte Entscheidung über den Einsatz von Natururan und Schwerem Wasser einerseits oder angereichertem Uran mit Leich-

tem Wasser andererseits ist noch nicht gefällt. Der Preis von Natururan liegt im Ermessen der Länder, die über die Vorkommen verfügen. Er wird also in dem Maß steigen, in dem der Natururanbedarf größer wird. Andererseits sind aber die wirklichen Kosten für die Urananreicherung nicht bekannt, da die technisch realisierten Anreicherungsverfahren geheimgehalten werden. So ist es durchaus denkbar, daß die tatsächlichen Anreicherungskosten so hoch werden, daß sie dem Natururanreaktor wieder Vorteile verschaffen.

Darum hat diese Entwicklung für alle Länder, die große eigene Natururanvorräte haben, ihren besonderen Wert.

Für diejenigen Länder, die keine Atommächte im militärischen Sinne sind, ist es auch fraglich, ob ihnen angereichertes Uran immer zur Verfügung gestellt werden wird. Die wiederholt auftretenden Schwierigkeiten und Verzögerungen bei der Lieferung von angereichertem Uran geben Anlaß zu diesen Bedenken. Für Länder mit kleinerem Industriepotential ist es auch nicht unbedingt notwendig, eine große Energiekapazität in einem einzigen Reaktor zu haben. Sie könnten sich am Ende mit mehreren kleineren Kapazitäten zufriedengeben.

Jedenfalls ist es bemerkenswert, daß ein Land mit einem Energiereichtum wie Kanada die Entwicklung der Kernenergie mit solcher Intensität vorantreibt und dabei im Vergleich mit der übrigen Welt einen eigenwilligen, offensichtlich aber auch erfolgreichen Weg geht.

# Kapitel 7
# LEICHTWASSERREAKTOREN

Die gewaltigen Bauwerke in Biblis am Rhein in der Nähe von Worms sind in aller Munde, wenn in der Welt von Kernkraftwerken gesprochen wird. Es sind wohl auch die zur Zeit größten Kernkraftwerke. Die beiden Blöcke haben zusammen eine Leistung von 2500 Millionen Watt und könnten, wenn sie das ganze Jahr hindurch laufen würden, eine Leistung von mehr als 20 Milliarden kWh erzeugen. Das sind etwa 10% der jetzigen Stromerzeugung in der Bundesrepublik Deutschland.

Diese beiden Großkraftwerke, zu denen an Ort und Stelle nach den Plänen des RWE (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG) noch zwei gleichgroße hinzukommen sollen, repräsentieren zur Zeit die Generation der Kernreaktoren, die nun in Deutschland, im übrigen aber auch in vielen anderen Teilen der Welt, entstehen sollen. Der Name Biblis ist für viele Interessenten in der Welt ein Symbol für die erfolgreiche friedliche Nutzung der Kernenergie. Man hat begriffen, daß Einrichtungen dieser Art jetzt Prototypen der Kernkraftwerke sind, die in den nächsten 10–20 Jahren die Energieerzeugung in der Welt bestreiten müssen.

Daß sie in der Bundesrepublik Deutschland aus eigenen Kräften gebaut werden können, ist das Resultat einer weitsichtigen Atompolitik und einer mutigen Initiative der deutschen Wirtschaft.

Unmittelbar nach der Genfer Atomkonferenz im Herbst 1955 ergriff das RWE die Initiative. Es stand damals unter Leitung des eigenwilligen und tatkräftigen Heinrich Schöller, der als Mitglied in

der Deutschen Atomkommission loyal und energisch mitarbeitete, aber darüber hinaus durchaus eigene Wege ging.

Durch Vermittlung der AEG (Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft), die mit der amerikanischen General Electric eng verbunden war, verschaffte sich das RWE einen Einblick in die amerikanische Reaktorentwicklung.

In den USA gab es zu dieser Zeit etwa 50 große und kleine Kernreaktoren, die man in rascher Folge in dem reichen und allem Neuen aufgeschlossenem Lande errichtet hatte. In diesen Reaktoren waren die unterschiedlichen Ideen realisiert, die von den Wissenschaftlern für den Reaktorbau erdacht worden waren.

Angesichts des großen Reichtums an traditionellen Energiequellen konnten die Amerikaner sich viel Zeit lassen mit der Entscheidung, welcher Konzeption sie letzten Endes folgen wollten. Mit U 235 angereicherten Kernbrennstoff gab es in großen Mengen, und es war abzusehen, daß die vorhandenen militärischen Anreicherungskapazitäten von Uran sehr bald den Rüstungsbedarf übersteigen würden.

So lag es nahe, angereichertes Uran als Brennstoff einzusetzen und zugleich damit das hinsichtlich der Neutronenökonomie zwar weniger effiziente, dafür aber um so leichter erhältliche normale Wasser als Kühlmittel und Moderator zu verwenden. Dadurch waren recht einfache Konstruktionen denkbar, bei denen die Brennelemente mit angereichertem Uran – ähnlich wie ein Tauchsieder – unmittelbar zum Erhitzen und Verdampfen von Wasser dienten.

Dieser Weg war viel einfacher als der mit Natururan, wo wegen der Neutronenbilanz Schweres Wasser ($D_2O$) benötigt wurde. Beim Abwägen der beiderseitigen Vorteile war zwar der Preis für das angereicherte Uran in Rechnung zu setzen. Da man aber genug davon hatte, war die Entscheidung in den USA einfach.

Sie fiel zugunsten des Leichtwasserreaktors. Das galt auch für die Schiffsreaktoren der U-Boote und Flugzeugträger, die damals gebaut wurden.

Alle anderen Möglichkeiten und Vorschläge, wie z. B. die gra-

phitmoderierten Reaktoren, die in Frankreich oder England bevorzugt wurden, oder auch der Einsatz organischer Kühlmittel, traten bei den Amerikanern demgegenüber in den Hintergrund.

Man unterscheidet bei den Leichtwasserreaktoren zwei Typen. Im Siedewasserreaktor, dem einfachsten Typ, wird der an den Brennelementen im Core des Reaktors erzeugte Dampf unmittelbar an die Turbine abgegeben (s. Bild 7, Farbbildteil S. III).

Das ganze System einschließlich der Turbine ist also von radioaktivem Dampf durchstrichen.

Im Druckwasserreaktor steht das Wasser im Core unter hohem Druck. Es kommt also nicht zum Sieden, sondern gibt seine Wärme über einen Austauscher an einen zweiten Kreislauf ab, in dem Dampf erzeugt und der Turbine zugeführt wird. In diesem Falle ist der Dampf in der Turbine nicht radioaktiv. Beide Systeme wurden in den USA entwickelt und bestehen auch heute noch nebeneinander (s. Bild 8, Farbbildteil S. IV).

Für die Bundesrepublik Deutschland war es wichtig, Anschluß an diese Entwicklung zu finden, die allerdings ohne angereichertes Uran nicht verwirklicht werden konnte. Andererseits war in Deutschland richtig erkannt worden, daß Wasser als Moderator gegenüber dem System »Graphit und $CO_2$-Kühlung« große Vorteile hatte.

Als die Amerikaner beobachteten, daß die Bundesrepublik Deutschland entschlossen und planmäßig mit einer eigenen Kernenergieentwicklung begann, wuchs schnell ihr Interesse an einer technischen und wirtschaftlichen Zusammenarbeit. Sie begannen frühzeitig, den Deutschen großzügigen Einblick in ihre Entwicklung zu gewähren und schlossen schon im Jahre 1956 einen erweiterten Vertrag mit der Bundesrepublik Deutschland ab, in dem die Lieferung von angereichertem Uran in beträchtlichem Ausmaß zugesagt wurde.

Die beiden Elektrizitätswerke RWE und Bayernwerk schlossen einen Vertrag mit der amerikanischen General Electric über die Lieferung eines Reaktors ab. Der unter Mitwirkung der AEG in Kahl am Main errichtete Reaktor vom Siedewassertyp hat eine

elektrische Leistung von 15 MW entsprechend einer thermischen Leistung von 50 MW. Er kam im Jahre 1961 in Betrieb und war die erste Versuchsanlage auf dem Gebiet der Leichtwasserreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland.

Die offizielle deutsche Entwicklung ließ sich durch diesen Ankauf allerdings von ihren eigenen Plänen nicht abbringen. Als im Jahre 1963 das 2. Deutsche Atomprogramm verabschiedet wurde, war die Vorstellung von der zukünftigen Reaktorpolitik schon sehr viel besser fundiert. Man konnte die eigene Entwicklung in Ruhe fortsetzen und sah keinen Anlaß, sich auch durch noch so günstige Kaufangebote vom Weg des Eigenbaus abbringen zu lassen. So schön und verlockend die Möglichkeiten waren, sich auf fremde Entwicklungen zu stützen, in diesen Jahren entschied man sich für eine Politik, die schließlich zur weitgehenden industriellen Selbständigkeit führte.

In Karlsruhe wurde im Anschluß an den FR 2 mit dem Bau des Mehrzweckforschungsreaktors – MZFR – mit 50 MW elektrischer Leistung begonnen und damit die Natururan-Schwerwasserlinie zunächst noch fortgesetzt. Andererseits wurde im Jahre 1962 ein zweiter Siedewasserreaktor in den USA bestellt, der erstmalig mit einer elektrischen Leistung von 240 MW eine Betriebsgröße hatte, die damals derjenigen üblicher konventioneller Kraftwerke entsprach. Auch in den USA wurden in dieser Zeit keine größeren Kraftwerkseinheiten gebaut.

Der neue Siedewasserreaktor wurde in Zusammenarbeit zwischen RWE und Bayernwerk in Gundremmingen in Bayern errichtet. Er fügte sich in ein bestehendes Euratom-USA-Kernkraftwerks-Programm ein, aus dem dann auch ein Teil der Finanzierung kam. Aus der Erkenntnis, daß zum Ausbau einer leistungsfähigen eigenen Industrie auch Ankäufe notwendig waren, gab die Bundesregierung einen Zuschuß von 40 Millionen DM. Außerdem gewährte die Bundesregierung Bürgschaften, Abschreibungserleichterungen und erklärte sich zur Übernahme von Anlaufverlusten bereit. Erbauer war wiederum die AEG mit der General Electric als Lizenzgeber, die ihrerseits viel Interesse zeigte und einen Zahlungs-

aufschub auf die Erstausrüstung der Brennelemente gewährte. Der Reaktor in Gundremmingen wurde 1965 fertiggestellt. Er erfüllte voll seine Erwartungen und lief bis zum Jahre 1975 nahezu störungsfrei.

In diesen 60er Jahren hatte in Deutschland das allgemeine Interesse an der Kernenergie spürbar nachgelassen. Das galt für die Öffentlichkeit wie auch für die Elektrizitätsversorgungsunternehmen. Kohle und Öl schienen in ausreichendem Maße zur Verfügung zu stehen. Andererseits betrachtete man die deutsche Entwicklung mit Skepsis, zumal aus dem ersten 500-MW-Programm keine großen Erfolge zu sehen waren. Erst recht aber wehrte sich die Bundesregierung in steigendem Maße, Mittel für den Ankauf von Leichtwasserreaktoren in den Vereinigten Staaten zu bewilligen.

Schließlich kam im Jahre 1963 das 2. Deutsche Atomprogramm zustande, das mit einem Umfang von 2,5 Milliarden DM für fünf Jahre geplant war und, bei seiner Endabrechnung, schließlich vier Milliarden DM erforderte. Darin war etwa die Hälfte an Aufwendungen für die Forschung vorgesehen. Andererseits waren auch jährlich inzwischen beträchtliche Zuschüsse für Euratom und die Kernforschungszentren erforderlich. Aber es waren in diesem Programm auch Mittel für den Ankauf zweier größerer Leichtwasserreaktoren über Gundremmingen hinaus enthalten.

Als im Jahre 1964 in Genf die 3. Atomkonferenz stattfand, konnte die Bundesrepublik Deutschland schon auf beträchtliche Erfolge hinweisen. Dazu gehörten zum Beispiel auch Überlegungen und Pläne, eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Leichtwasserreaktoren zu erzielen.

Ein schwerer Nachteil von Leichtwasserreaktoren gegenüber Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen ist bis heute die niedrige Temperatur des erzeugten Dampfes. Während die traditionellen Kraftwerke – nach dem heutigen Stand der Technik – überhitzten Dampf mit Temperaturen von mehr als 500 °C an die nachgeschaltete Dampfturbine abgeben, liefert der Leichtwasserreaktor nur einen Sattdampf von 250–300 °C. Die Grenze liegt in der chemischen Beständigkeit des Hüllmaterials der Brennelemente.

Infolge dieser niedrigen Temperatur ist der Wirkungsgrad, d.h. die Wärmeausnutzung, verhältnismäßig gering. In einem modernen traditionellen Dampfkraftwerk muß man heute 1,2 kWh als Wärme im Kühlwasser abgeben, um eine Kilowattstunde elektrischen Strom zu gewinnen. Der Leichtwasserreaktor erfordert dagegen 1,6 kWh. Er hat also einen sehr viel schlechteren Wirkungsgrad. Diese größere Abwärmemenge muß vom Kühlwasser aufgenommen werden und führt deswegen zu einer entsprechend höheren Erwärmung der Flüsse.

In dichtbesiedelten Industriegebieten ist diese Erwärmung der Flüsse aus Gründen des Umweltschutzes zu einem ernsten Problem geworden. Da Kernkraftwerke außerdem aus wirtschaftlichen Erwägungen in recht großen Einheiten gebaut werden, gibt eine einzige Anlage sehr erhebliche Wärmemengen an die Flüsse ab, was den Widerstand der Kernenergiegegner verständlich macht. Es ist tatsächlich ein wichtiges Argument, wenngleich es in der Öffentlichkeit oft überschätzt wird.

Wenn die Flußwasserkühlung nicht ausreicht, weil die Erwärmung des Flußwassers sonst unerträglich würde, muß unter Zuhilfenahme von Luft gekühlt werden, wodurch es dann je nach Anordnung zu gewaltigen Bauwerken kommt. Bild 9 zeigt, daß bei gleicher Höhe des Kernkraftwerkes schließlich bei trockener Rückkühlung Kühlturmhöhen von 175 m erreicht werden, was schon in der Landschaft erhebliche Probleme darstellen und auch auf das örtliche Klima infolge Erhöhung der Luftfeuchtigkeit Einfluß haben kann.

Die ersten deutschen Versuche, diesen Mangel zu beheben, hatten zum Ziel, den 250–300 °C heißen Dampf auf 500–600 °C zu überhitzen. Es wurde deswegen ein Bauauftrag für einen Leichtwasserreaktor vergeben, der als Siedewasserreaktor eine Leistung von 160 MW im kerntechnischen Teil hatte. Der im Core erzeugte Dampf von ca. 280 °C sollte anschließend mit Heizöl oder Gas weiter erhitzt werden, wodurch zusätzliche 50 MW elektrische Energie gewonnen wurden. Auf diese Weise wurde der thermische Wirkungsgrad wesentlich erhöht. Das Kernkraftwerk Lingen, das ins-

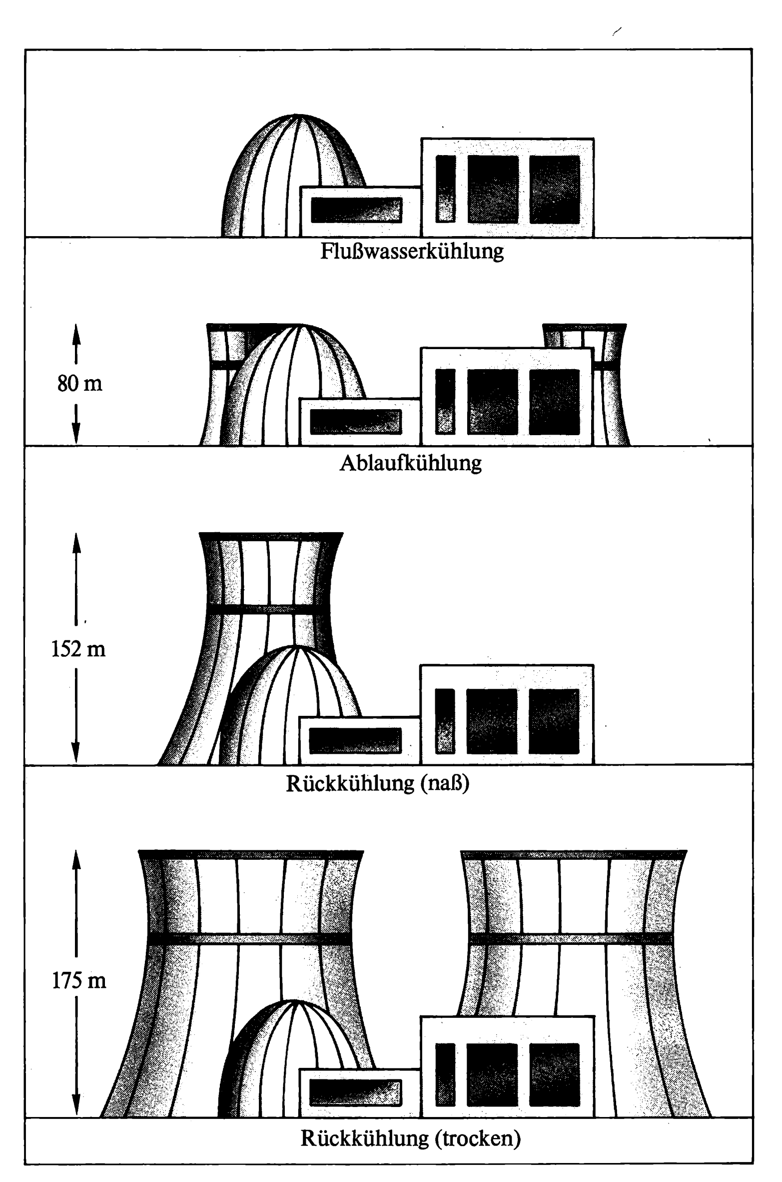



Bild 9 Kühlsysteme im Größenvergleich

gesamt 250 MW Kapazität hat, kam 1968 in Betrieb. Es stellte sich aber heraus, daß diese Einrichtung recht kompliziert und letzten Endes unwirtschaftlich war, so daß man diesen Weg nicht weiter verfolgt hat.

Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Dampftemperatur versuchte man in Kahl. Dort wurde nach Plänen der AEG im Auftrag der Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe ein Versuchsreaktor mit einer elektrischen Leistung von 25 MW gebaut, der wiederum ein Siedewasserreaktor war. Bei dieser Konstruktion wurde der im Core erzeugte Dampf mit Hilfe von Kernenergie weiter erhitzt. Dieser Reaktor trug den Namen »Heißdampfreaktor« (HDR) und kam im Jahre 1970 in Betrieb. Er erwies sich als nicht betriebssicher und wurde bald wieder stillgelegt.

Es hat sich damit gezeigt, daß die nachträgliche Überhitzung, zumal bei größeren Kapazitäten, zu kompliziert und deswegen nicht wirtschaftlich ist. Man begnügt sich deswegen weiterhin bei allen Leichtwasserreaktoren mit der Erzeugung von Sattdampf. Es bleiben einstweilen die Probleme im konventionellen Turbinenteil der Kraftwerke, wo durch Kondensation in den letzten Stufen des Niederdruckteils der Turbine vielfach schwere Schäden auftraten und Betriebsstillstände entstanden.

Einen bemerkenswerten Erfolg im Bereich der Leichtwasserreaktoren hatte der Schiffsbau. Im Jahre 1956 wurde von der Bundesregierung gemeinsam mit den vier Küstenländern Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein sowie der Wirtschaft eine Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt gegründet. Diese Gesellschaft baute als erstes ein Frachtschiff von 16900 BRT, das dann den Namen »Otto Hahn« bekam. Für den Antrieb baute die Arbeitsgemeinschaft von Babcock & Wilcox mit Interatom einen Druckwasserreaktor fortgeschrittener Konstruktion.

Der Reaktor erzeugt hocherhitztes Wasser. In einem sekundären Kreislauf entsteht der Antriebsdampf für die Turbine. Die Leistung dieses Antriebs wird mit 10000–11000 PS an der Schiffswelle angegeben. Das Schiff ist 1968 in Betrieb genommen worden und hat

bisher eine außerordentlich günstige Betriebszeit hinter sich. Es ist zur Zeit wohl das einzige nuklearangetriebene Frachtschiff. Anfangs gab es Schwierigkeiten mit der Landeerlaubnis in ausländischen Häfen, die aber längst behoben sind. Das Schiff läuft seit vielen Jahren regelmäßig viele wichtige Häfen der Welt an. Inzwischen sind Pläne für ein größeres Containerschiff entstanden, das eine Kapazität von 80000 BRT haben soll. Da es der Schiffahrt in den letzten Jahren nicht besonders gut geht, sind diese Pläne, die ohne Förderung der Bundesregierung nicht realisiert werden können, immer wieder verschoben worden.

Der Druckwasserreaktor wurde in der Bundesrepublik Deutschland in erster Linie durch die Firma Siemens gefördert. Sie stützte sich dabei auf eine Zusammenarbeit mit der amerikanischen Firma Westinghouse. Siemens hatte aufgrund des Baus des Natururanreaktors – MZFR – einen Auftrag in Atucha, Argentinien, für ein Kernkraftwerk von 340 MW erhalten. Das dabei erarbeitete Know-how war eine gute Voraussetzung für den Bau von Leichtwasserreaktoren nach dem Druckwasserprinzip. In Obrigheim am Neckar wurde im Jahre 1968 ein erster Druckwasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 283 MW kritisch, der von einer zu diesem Zweck gegründeten Kernkraftwerk Obrigheim GmbH bis heute mit gutem Erfolg betrieben wird.

Schon im Jahre 1969 hatte die Firma Siemens einen ersten Exporterfolg. Für Borssele bei Vlissingen bestellten die Niederlande einen Druckwasserreaktor mit einer Leistung von 450 MW. Damit war auch für die Druckwasserreaktoren die wirtschaftliche Größenordnung erreicht. Inzwischen haben sich beide Typen der Leichtwasserreaktoren zu betriebsmäßigen Serienbauten entwikkeln können. Zur Zeit sind etwa 10 Leichtwasserreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb. 20 weitere sind im Bau oder bis 1985 projektiert. In allen Fällen liegt die Leistung zwischen 600 und 1300 MW.

Als normale Kapazität wird im allgemeinen jetzt die Größe der Kernkraftwerke von Biblis betrachtet. Damit scheint ein Stadium erreicht zu sein, das für den jetzigen Stand der Entwicklung ein Op-

timum darstellt. Man benötigt offensichtlich eine Pause des Nachdenkens, bevor man sich entscheiden kann, zu noch größeren Typen überzugehen. Dazu ist es notwendig, mit den bisherigen Betriebsgrößen mehr Erfahrungen zu sammeln. Aber auch konstruktive Probleme treten in den Vordergrund, wenn man die für traditionelle Kraftwerke schon ungewöhnliche Größe noch wesentlich überschreiten will.

Die Erfahrungen mit den bisher in der Bundesrepublik Deutschland in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken sind außerordentlich gut. In Deutschland hat die Öffentlichkeit diese Kraftwerke von Beginn an sehr kritisch betrachtet, so daß alle Störungen, auch die geringsten, immer gleich diskutiert wurden.

Über die grundsätzliche Frage der Sicherheit der Kernenergie wird später zu sprechen sein (s. S. 197). Seit 1970 registriert die Reaktorsicherheitskommission alle, auch die kleinsten Vorkommnisse in Kernkraftwerken, so daß nichts verborgen bleiben kann.

Das erste Kernkraftwerk in Biblis ist rund 12 Monate ohne wesentliche Unterbrechungen gelaufen. Bei einem geplanten Stillstand zwecks Überholung und Revision ergaben sich Schäden in den Pumpen und am Speisewasserbehälter. Beides hätte vermieden werden können, wenn sich Gewerbeaufsicht, Hersteller und Betreiber vorher noch besser abgestimmt hätten. Mit der eigentlichen Kernreaktion und der Radioaktivität hatte dieser Schaden nichts zu tun. Er hätte auch an jedem traditionellen Kraftwerk eintreten können.

Viel Aufsehen erregte auch die große Verzögerung bei der Inbetriebnahme des Siedewasserreaktors in Würgassen an der Weser. Hier waren Schäden an der Notkühlung und an der Turbine entstanden, die beim ersten Anfahren lange vor dem praktischen Betrieb beobachtet wurden. Sie führten zu grundsätzlichen Verbesserungen an der Konstruktion, die dann auch sofort für alle übrigen in Bau befindlichen Siedewasserreaktoren gefordert und durchgeführt wurden. In diesen beiden Fällen hat also die Sorgfalt der Überwachung zu einer Beseitigung des Schadens geführt, bevor auch nur eine wirklich ernste Gefahr bestand.

Nachdem der Siedewasserreaktor Gundremmingen mehrere Jahre ohne jede Betriebsstörung gelaufen war, gab es dort nacheinander im November 1975 und im Januar 1977 zwei schwere Störungen, die viel Aufsehen erregten.

Im ersten Fall handelte es sich um menschliches Versagen bei einer Reparatur, das zwei Menschenleben kostete. Der Unglücksfall führte zu einem gerichtlichen Nachspiel, bei dem sich auch herausstellte, daß keinerlei Radioaktivität zum Tod geführt hatte. Die Verunglückten hatten ein Druckwasserventil auszuwechseln begonnen, bevor das System vollständig vom Druck entlastet war. Sie wurden dabei durch ausströmendes heißes Wasser und Wasserdampf getötet und nicht durch Radioaktivität.

Bei dem Unglücksfall des Jahres 1977 kamen keine Menschen zu Schaden. Auch in diesem Fall trat keine Radioaktivität aus. Bei einem Stromausfall durch Kurzschluß im Verteilungsnetz versagten die Einrichtungen, die die Turbine und anschließend den Reaktor so hätten regeln müssen, daß seine Leistung auf den Eigenbedarf – etwa 15 MW – zurückging. Ob es sich dabei um menschliches Versagen oder um fehlerhafte Überwachungsmaßnahmen handelte, ist noch nicht bekannt. Die Sicherheitseinrichtungen des Reaktorgebäudes haben dann automatisch und klaglos funktioniert. Der hohe Schaden und die lang andauernde Betriebsunterbrechung hatten ihre Ursachen darin, daß die rechtzeitig einsetzende Notkühlungsanlage das Reaktorgebäude so stark unter Wasser setzte, daß beachtliche Schäden an den elektrischen Einrichtungen entstanden.

Man muß also zunächst einmal davon ausgehen, daß die jetzt in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in den etwa zehn Jahren, seitdem es solche Einrichtungen in der Bundesrepublik überhaupt gibt, keinerlei Schäden hervorriefen und erlitten, die mit der Kernenergie selbst in Verbindung standen, und daß auch die Umgebung der Kraftwerke in keiner Weise gefährdet wurde.

Die andere Frage ist die weitere Vergrößerung der Kraftwerkseinheiten über die jetzige Dimension von 1200–1300 MW hinaus. Aufgrund von Wirtschaftlichkeitsberechnungen streben die Kraftwerksingenieure eine solche Vergrößerung an, weil bei Kernkraft-

werken ganz allgemein zwar die Brennstoffkosten (s. S. 243) niedriger sein werden als bei den traditionellen Kohle- oder Ölkraftwerken, andererseits aber die Investitionskosten, d.h. die Kosten für die Errichtung von Kernkraftwerken, schon wegen der umfangreicheren Sicherheitseinrichtungen immer sehr viel höher sein werden.

Die Grenzen für die Entwicklung der Leichtwasserreaktoren zu noch größeren Kapazitäten liegen neben vielem anderen insbesondere in konstruktiven Problemen beim Druckgefäß des Reaktors.

Die Anordnung der Brennelemente und der Regelstäbe – das Core – ist bei den Leichtwasserreaktoren in Druckkesseln untergebracht, die den Betriebsdruck von 140 Atmosphären aushalten müssen. Bei Kernkraftwerken jetziger Größe von 1200–1300 MW ergeben sich beachtliche Dimensionen, wie sie sonst bei Hochdruckapparaturen, die zum Beispiel in der chemischen Industrie gebräuchlich sind, praktisch nicht verwendet werden. Solche Reaktorgefäße haben ein Gewicht von 500 Tonnen und mehr. Sie werden aus einzelnen Teilen zusammengesetzt. Hinzu kommt, daß sie nur an wenigen Stellen in der Welt hergestellt werden können. Es ergeben sich Schwierigkeiten beim Transport und bei der Montage, so daß solche Gefäße schwerlich in noch größeren Dimensionen hergestellt werden können. Es treten dann auch ernste Probleme der Sicherheit auf.

Andere konstruktive Lösungen werden zu entwickeln sein, wenn es überhaupt als sinnvoll betrachtet wird, die einzelnen Einheiten noch zu vergrößern. Es muß auch berücksichtigt werden, daß größere Serien mit so großen Kapazitäten nur für Standorte in Industrieländern in Betracht kommen.

Eine andere Grenze liegt bei den Turbinen, die jetzt schon größer sind als bei konventionellen Kraftwerken. Die Turbinen in Biblis zum Beispiel haben eine Länge von 40–50 m und sind beim Betrieb mit Sattdampf recht reparaturanfällig.

Immerhin haben die Leichtwasserreaktoren jetzt ein Stadium erreicht, das der Kernenergie einen universellen wirtschaftlichen Einsatz ermöglicht. Das ergab sich übereinstimmend auch gelegentlich

der 4. Genfer Atomkonferenz im Jahre 1971. Aber das Ende der Entwicklung können diese Art von Reaktoren nicht darstellen, da die Ausnutzung des spaltbaren U 235 zu ungünstig ist. Es wird aber geraume Zeit brauchen, bis bessere und wirtschaftlichere Lösungen für den industriellen Einsatz reif sind.

# Kapitel 8
# GRAPHITREAKTOREN

Die Engländer hatten sich während des Krieges mit großem wissenschaftlichen Einsatz an dem Atomprogramm der Amerikaner beteiligt. Schon zu Beginn des Jahrhunderts hatte Ernest Rutherford mit der ersten künstlichen Kernreaktion und Elementumwandlung wichtige Beiträge zur Grundlage der Umsetzung von Atomkernen geleistet. Sein Schüler James Chadwick – 1932 Entdecker des Neutrons – wirkte maßgeblich mit an den Vorarbeiten für den ersten Urangraphitreaktor, der im Jahre 1942 in den USA in Betrieb kam.

Zu einer eigenständigen Entwicklung konnte England erst nach dem Krieg kommen. Zu dem militärischen Interesse am Aufbau einer eigenen Atommacht kam die Sorge um eine Energieverknappung, die auf der Britischen Insel schon frühzeitig gesehen wurde, da man sich damals nur auf die einheimische Kohle stützen konnte. Erdgas und Erdöl in der Nordsee waren noch unbekannt, als 1955 in Genf bei der Atomkonferenz vom ersten Calder-Hall-Programm berichtet wurde.

Da eine Urananreicherungsanlage in England zunächst nicht zur Verfügung stand und man auf vollständige Unabhängigkeit Wert legte, diente als Grundlage für einen Reaktor Natururan in Kombination mit Graphit als Moderator und Kohlensäure als Kühlmittel. Diese Kombination war für die Erzeugung von Plutonium besonders geeignet. Schon im Jahre 1956 ging der erste Calder-Hall-Versuchsreaktor, benannt nach seinem Standort in Cumberland, in Be-

trieb. Ihm folgten bald, zum Teil am gleichen Ort, weitere Reaktoren mit immer größerer Leistung. Diese ersten Typen enthielten als Brennstoff Natururan in metallischer Form, das eingehüllt war in eine »Magnox« genannte Magnesiumlegierung. Deswegen nannte man diese Reaktorlinie später »Magnox-Reaktoren«. Die stabförmigen Brennelemente waren in Graphitkanäle eingelagert, die Kohlensäuregas als Kühlmittel durchströmte.

Diese ersten großen Leistungsreaktoren gingen ohne besondere Schwierigkeiten in Betrieb. Bis in die Mitte der 60er Jahre wurden etwa 11 Kernkraftwerke dieser Art gebaut, deren Leistung jeweils bis zu je 300 MW erreichte. England nahm damit im industriellen Reaktorbau zunächst die Spitzenposition ein. Auch in Frankreich wurden Reaktoren dieses Typs errichtet; ferner je einer in Italien, in Japan und später in Spanien.

Der Magnox- bzw. Calder-Hall-Reaktor hat gegenüber den in Amerika gleichzeitig entwickelten Leichtwasserreaktoren den Vorteil einer etwas höheren Dampftemperatur von ca. 400 °C. Allerdings hatten diese Graphitreaktoren wegen der Verwendung von Natururan und Graphit sehr große Dimensionen. Die Druckgefäße mußten deshalb schließlich aus Spannbeton gebaut werden.

Im Jahre 1964 wurden die vorläufig letzten Anlagen vom Magnox-Typ in Auftrag gegeben. Es handelte sich um das Kraftwerk Wylfa mit zwei Reaktoren von jeweils 590 MW. Jeder dieser Reaktoren enthält 595 t Uran und 3740 t Graphit. Es wurden eigens für diesen Zweck Produktionsstätten für nuklearreinen Graphit errichtet, der insbesondere von Borbeimengungen frei sein muß. Schon diese großen Mengen von Graphit geben einen Eindruck von den Dimensionen, die bei einem solchen Reaktor notwendig wurden.

Der Wirkungsgrad der Anlagen war zu niedrig, ihr Strompreis infolgedessen nicht wettbewerbsfähig gegenüber demjenigen bei konventionellen Kraftwerken.

Eine grundsätzliche Verbesserung wurde auch dann nicht erreicht, als Mitte der 60er Jahre die fortgeschrittenen gasgekühlten Reaktoren (Advanced Gas Cooled Reactors, AGR) in Auftrag gegeben wurden. Hier benutzte man schwachangereichertes

(1,6–2,3 %) Uran in Form von Uranoxid ($UO_2$). Anstelle der Magnox-Legierung verwendete man jetzt Stahl als Hüllmaterial.

Wiederum diente Graphit als Moderator und Kohlensäure als Kühlmittel. Diese Reaktoren waren wesentlich kompakter, die Brenndauer der Stäbe wurde länger und die Kapitalkosten waren geringer. Immerhin erreichte man im Kühlkreislauf Temperaturen von etwa 650 °C.

Aber schon beim Bau dieser Reaktoren ergaben sich beträchtliche Schwierigkeiten. Die Folge war, daß bis Ende des Jahres 1974 noch keines der fünf in Auftrag gegebenen AGR-Kernkraftwerke mit insgesamt über 6000 MW elektrischer Leistung seinen Betrieb hatte aufnehmen können. Es gab Korrosionserscheinungen an den Wärmeaustauschern. Deswegen erreichten alle diese Reaktoren nicht den Wirkungsgrad, für den sie berechnet waren.

Die Hoffnung, daß diese Reaktortypen eine nachhaltige Konkurrenz zu den Leichtwasserreaktoren darstellen könnten, hat also getrogen. Im Ausland sind die AGR-Reaktoren von jeher weniger optimistisch betrachtet worden als in England. Deswegen ist es auch den Engländern niemals gelungen, Exportaufträge hierfür unterzubringen, vor allem auch, weil inzwischen die Leichtwasserreaktoren zu immer größeren Kapazitäten entwickelt werden konnten.

Vorübergehend hatte sich England auch für einen dampferzeugenden Schwerwasserreaktor (Steam Generating Heavy Water Reactor, SGHWR) als neuen Typ entschlossen. Einer dieser Reaktoren ist seit 1968 in Großbritannien in Betrieb. Er scheint sich gut bewährt zu haben.

Man muß diese englische Entwicklung unter dem Gesichtspunkt des militärischen Interesses sehen. Im Vordergrund stand die Gewinnung von Plutonium, wobei die Wirtschaftlichkeit immer von zweitrangiger Bedeutung bleiben konnte. Die letzte Regierungsentscheidung zugunsten des SGHWR hat große Diskussionen ausgelöst. Weite Kreise der britischen Energiewirtschaft hätten, wennschon die alten Linien nicht mehr weiter betrieben werden konnten, sich lieber dem neuen Typ des amerikanischen und deutschen Leichtwasserreaktors zugewandt. Außerdem stellt sich die Frage,

woher England die erforderliche Menge von Schwerem Wasser erhalten wird, das im Augenblick wohl nur aus Kanada bezogen werden könnte. Es scheint aber, daß auch bei dieser Entscheidung immer wieder nationales Prestige eine Rolle gespielt hat.

So wie in England, wurde auch in Frankreich und in der Sowjetunion mit der Natururan-Graphitlinie unter Kühlung mit Kohlensäure begonnen. In beiden Ländern waren wohl gleichfalls nationale Erwägungen im Vordergrund. In Frankreich sind bis 1971 acht Reaktoren auf der Basis Natururan-Graphit-Kohlensäure in Betrieb gekommen. Der letzte von ihnen hat eine Leistung von 540 MW erreicht. Das ist immer noch sehr viel weniger, als heute mit Leichtwasserreaktoren zu erreichen ist.

Doch auch in Frankreich hat die staatliche Atombehörde schließlich eingesehen, daß sie sich aus wirtschaftlicher Sicht auf dem falschen Weg befand. Im Jahre 1970 wurde der Entschluß gefaßt, die eigene Entwicklung der Graphittypen aufzugeben und zu Leichtwasserreaktoren amerikanischer Bauart überzugehen. Die französische Industrie schloß zu diesem Zweck Entwicklungsverträge mit den Amerikanern ab. Die Reaktoren, die heute Frankreich z.B. im Iran anbietet, beruhen auf dieser Grundlage.

In der Sowjetunion wurde die Natururanlinie von Anfang an modifiziert. Die Sowjetunion verwendete anstelle von Kohlensäure Wasser als Kühlmittel. In der Sowjetunion war die Energieversorgung weniger wichtig als die Herstellung von Plutonium. Es stehen dort im großen Umfang ungenützte Wasserkräfte sowie Erdöl und Erdgas als Energiequellen zur Verfügung.

Nach dem Bau einiger kleinerer Prototypen wurden in neuerer Zeit sechs große Leichtwasser-Graphitreaktoren mit Leistungen von je 1000 MW in Auftrag gegeben. Die UdSSR hat sich jedoch von vornherein nicht so stark auf eine einzige Variante festgelegt. Es gibt dort auch Kernkraftwerke auf Basis der Druckwasser-Reaktoren. Solche Typen sind auch als Schiffsantrieb etwa für den Eisbrecher Lenin und für U-Boote eingesetzt worden.

Nach dem augenblicklichen Stand der Technik haben sich also

zumindest in der westlichen Welt die Urangraphitreaktoren mit Gaskühlung wirtschaftlich überlebt.

Der Kapitalaufwand ist so groß, daß sie gegenüber den Leichtwasserreaktoren nicht konkurrieren können. Graphitreaktoren haben wie diese den Nachteil einer immer noch zu niedrigen Dampftemperatur und des niedrigen Wirkungsgrades. Zusätzlich kommt als Nachteil bei den Gasreaktoren noch die große Pumpleistung zur Umwälzung des Kühlgases hinzu. Beim Magnox-Reaktor z.B. betrug sie bis zu 16% der elektrischen Leistung.

Wenn der Graphit als Moderator wirklich interessant bleiben sollte, so mußten erst einmal die grundsätzlichen Mängel behoben werden, die der Wirtschaftlichkeit im Wege standen. Der erste Schritt war getan, als man das Natururan durch angereichertes Uran ersetzte. Außerdem mußten höhere Gastemperaturen erreicht werden, um den thermischen Wirkungsgrad zu verbessern. Man ging deswegen dazu über, die Kohlensäure, die bei dem graphitmoderierten Reaktor als Kühlgas dient, durch Helium zu ersetzen. Als inertes Kühlgas bietet Helium den Vorteil, daß es von keiner Strahlung zersetzt wird und auch bei höherer Temperatur nicht mit Graphit reagiert.

Arbeiten in dieser Richtung wurden unabhängig voneinander gegen Ende der 50er Jahre in Deutschland, in England und in den USA begonnen. Schon im Jahre 1956 trat Rudolf Schulten, ein Schüler von Werner Heisenberg und Mitarbeiter von Karl Wirtz, mit der zunächst überraschenden Idee eines Hochtemperaturreaktors (HTR) hervor. Dieser Plan fand sogleich Anklang und spielte schon im 1. Deutschen Atomprogramm von 1958 eine wichtige Rolle. Wie sooft, gab es auch hier bei der Verwirklichung viele Hindernisse, so daß der Prototyp AVR erst 1966 kritisch wurde.

### *Der Kugelhaufenreaktor*

Der Grundgedanke liegt darin, daß die Brennelemente aus Graphitkugeln mit einem Durchmesser von 6 cm bestehen. In ihnen ist der Kernbrennstoff in Form von Urankarbid oder Uranoxid einge-

schlossen. Die Kugeln bewegen sich in einem Schacht aus keramischem Material und bilden das Core (s. Bild 10, Farbbildteil S. V). Ausgebrannte Kugeln können unten entnommen, neue oben eingesetzt werden. Als Kühlgas dient Helium, das den Kugelhaufen durchströmt.

Der Reaktor wird kritisch, sobald genügend Kugeln eingefüllt sind. Im einfachsten Fall gibt das Helium seine Wärme in einem Austauscher an ein Dampfsystem ab, das die Turbine treibt. Das spätere Ziel ist selbstverständlich, das heiße Helium direkt einer Gasturbine zuzuführen.

Die Planungsarbeiten zu diesem recht überzeugenden Projekt übernahm die Firma Brown, Boveri & Cie. (BBC), Mannheim, unter Leitung von Rudolf Schulten. Später bildete sich ein Konsortium aus BBC und Krupp. Auftraggeber war eine aus kommunalen Energieversorgungsunternehmen bestehende Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH (AVR) in Düsseldorf. Der Reaktor wurde auf dem Gelände der Kernforschungsanlage Jülich errichtet, die jetzt unter Leitung von K. H. Beckurts steht. Im Zuge der Ausarbeitung mußten viele Hürden überwunden werden, die im technischen, aber auch im wirtschaftlichen Bereich lagen. Es war zu erwarten, daß aus den Graphitkugeln radioaktive Spaltprodukte austreten und in den Kühlgaskreislauf gelangen würden. Dadurch würde der gesamte Kreislauf einschließlich der Turbine kontaminiert werden. Zunächst war daran gedacht, diese nicht unbedenkliche Radioaktivität in Kauf zu nehmen oder die radioaktiven Spaltprodukte durch ein Absorptionsverfahren aus dem Kreislauf herauszunehmen.

Glücklicherweise gelang in den USA rechtzeitig die Erfindung der »coated particles«. Das sind beschichtete Brennstoffteilchen. Sie bestehen aus sphärischen Kernen von 0,2 bis 0,8 Millimeter Größe, auf denen in einem Wirbelbett durch Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen eine mehrfache gasdichte Schicht von Graphit niedergeschlagen wird. Diese Umhüllung verhindert den Austritt von Radioaktivität.

Die ersten Kugeln dieser Art für den deutschen Reaktor wurden

aus den USA bezogen. Inzwischen unternahm die Nukem Arbeiten zur Herstellung von Graphitkugeln. Diese müssen stabil genug sein, um beim Durchlaufen des Schachtes nicht zu zerbrechen. Mit der Bewältigung dieser Forderungen waren die Voraussetzungen für den AVR-Reaktor erfüllt.

Nach vielen Auseinandersetzungen, bei denen es wie immer um die Bereitstellung staatlicher Mittel, aber auch um privatwirtschaftliche Differenzen innerhalb der Firmengruppen ging, wurde im Jahre 1961 mit dem Bau begonnen. Der 1966 kritisch gewordene AVR-Reaktor leistet 13 MW, die im sekundären Kreislauf in einer Dampfturbine erzeugt werden. Die Heliumtemperatur betrug zunächst 850 °C.

Dieser Prototyp, der zwar verspätet in Betrieb gekommen war, erfüllte dann aber von Beginn an alle Erwartungen. Selbstverständlich ist seine Leistung für einen wirtschaftlichen Betrieb zu klein. Aber er läuft bis heute störungsfrei. Im Jahre 1974 konnte die Heliumtemperatur sogar auf 950 °C heraufgesetzt werden.

Auf Empfehlung der Deutschen Atomkommission beschloß die Bundesregierung gemeinsam mit dem Land Nordrhein-Westfalen im Jahre 1967 nunmehr ein Prototyp-Kernkraftwerk von 300 MW in Angriff zu nehmen. Über die Form, in der das geschehen sollte, und über die Finanzierung gab es wieder langwierige Diskussionen. Schließlich konnte 1972 in Uentrop im Ruhrgebiet mit dem Bau begonnen werden. Bauträger ist die Hochtemperatur-Kernkraft GmbH, deren Teilhaber mehrere Elektrizitätsgesellschaften sind. Die Firma Krupp schied aus dem ursprünglichen Konsortium aus, BBC ist nunmehr der alleinige Projektträger.

Dieser THTR (Thorium-Hochtemperaturreaktor) erfüllt noch einen zusätzlichen Zweck. Er soll im ersten Core 93 %iges Uran 235 und anstelle von U 238 Thorium im Verhältnis 1 : 10 enthalten. Als Konversionsprodukt entsteht dann Uran 233, das seinerseits ein Kernbrennstoff ist.

Im übrigen basiert der Reaktor weitgehend auf den Erfahrungen des AVR, in dem auch bereits Brennelementkugeln mit Thorium eingesetzt wurden. Erstmalig wird ein Reaktordruckgefäß aus vor-

gespanntem Beton mit sechs Kühlkreisen verwendet. Die Dampferzeuger befinden sich in der Reaktorhülle, so daß lediglich heißer Dampf das Druckgefäß verläßt. Der THTR soll nach einigen Verzögerungen nunmehr 1978 kritisch werden.

Gegenwärtig wird auch ein größerer Prototyp von 1000 MW erwogen, für den sich allerdings noch kein Auftraggeber gefunden hat. Der im Bau befindliche 300-MW-Reaktor wird 675000 Brennstoffkugeln enthalten. Bei einem 1000-MW-Reaktor würden 1,8 Millionen Kugeln notwendig sein. Der Druck des Heliumgases liegt bei 40 bis 50 Atmosphären. In beiden Fällen soll die Helium-Auslaßtemperatur etwa 750 °C betragen.

Neben dieser deutschen Entwicklung lief im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit, an der auch die Bundesrepublik Deutschland beteiligt ist, das DRAGON-Projekt. Der Reaktor, der im Jahre 1965 kritisch wurde, enthält Brennelemente aus hochangereichertem Urankarbid und Thoriumkarbid in Form von Partikeln mit einem Durchmesser von etwa 0,2 Millimetern, die nach Art der coated particles von Graphit eingehüllt sind. Die Partikeln sind dann in einer Masse von Graphit eingebettet und so zu Blöcken geformt. Der DRAGON-Reaktor hat allen Beteiligten wertvolle Erkenntnisse gebracht. Seine Idee ist aber nicht weiter verfolgt worden. Merkwürdigerweise hat man in England, obwohl es auf dem Gebiet der Gaskühlung über große Erfahrungen verfügt, keine Anstrengungen zur Weiterentwicklung in Richtung eines Hochtemperaturreaktors gemacht.

### *Ein amerikanischer Vorsprung?*

Um so intensiver hat in den USA die General Atomic Company (GAC) an diesem Problem gearbeitet.

Im Jahre 1967 wurde in Peach Bottom bei Philadelphia ein Versuchsreaktor mit einer Leistung von 40 MW in Betrieb genommen. Zunächst hatte man mit diesem Reaktor vor allen Dingen bei den Brennelementen Schwierigkeiten. Erst nach einigen Jahren konnten sie beseitigt werden. In diesem Fall bestehen die Brennelemente aus

Graphitblöcken mit hexagonalem Querschnitt, in die die coated particles eingebettet sind.

Ein Teil der Mißerfolge lag wohl darin, daß die langen Graphitstäbe, in denen der Kernbrennstoff untergebracht ist, beim Aufheizen und Abkühlen Spannungen unterworfen sind und dadurch zerstört wurden. Die sehr viel kleineren Graphitkugeln der deutschen Konstruktion haben diesen Nachteil nicht.

Noch bevor der Reaktor in Peach Bottom störungsfrei arbeitete, begannen die Amerikaner bei Fort St. Vrain in der Gegend von Denver in Colorado Arbeiten an einem größeren Prototyp mit einer elektrischen Leistung von 330 MW. Hier war eine Austrittstemperatur des Kühlgases von 785 °C vorgesehen. Die 85 cm langen Graphiteinheiten der Brennelemente enthalten vertikale Kanäle für die coated particles mit einem Gemisch aus Uran und Thorium als Brennstoff, die Kontrollstäbe und den Durchtritt des Kühlmittels. Der Reaktor ist mit 1480 Brennelementen ausgestattet, die 5 Jahre im Core bleiben sollen. Angesichts der hohen Kühlwassertemperatur erhofft man sich einen Wirkungsgrad von etwa 39%, verglichen mit etwa 30–33% beim Leichtwasserreaktor.

Noch ehe dieser Prototyp von Fort St. Vrain überhaupt fertig wurde, erhielt General Atomic schon Vorbestellungen auf mehrere Großanlagen mit Leistungen von je 1100 MW.

Es war eine Sensation der 4. Atomkonferenz in Genf im Herbst 1971, daß die Elektrizitätswirtschaft in Amerika sich mit solcher Aufmerksamkeit dieser Lösung zuwandte. Man sprach in Genf auch schon von Einheiten mit Leistungen von 2000–3000 MW. So schien es, als hätten die Amerikaner großes Vertrauen in die Zukunft der Hochtemperaturreaktoren gesetzt und wollten schon zu größeren Bestellungen übergehen.

Demgegenüber lief die Entwicklung auf deutscher Seite noch sehr langsam. Man war deswegen über die Erfolge in Amerika allgemein enttäuscht. Wieder einmal war das reiche und entschlußfreudige Amerika uns zuvorgekommen. 1972 lief der Bau des Prototyps für den Kugelhaufenreaktor erst an, zu einem Zeitpunkt also, als der US-Typ schon in Betrieb gehen sollte.

So traf die BBC mit der General Atomic eine Vereinbarung, um auch die amerikanische Konstruktion in Deutschland bauen zu können.

Die anfängliche Hochstimmung in den Vereinigten Staaten hat sich inzwischen wieder weitgehend gelegt. Der Reaktor von Fort St. Vrain ist erst im Frühjahr 1974 betriebsfertig geworden und leidet seitdem unter vielen Störungen, so daß er erst im Jahre 1975 zum ersten Mal kritisch wurde. Auch jetzt noch scheint er von zahlreichen Störungen befallen zu sein, die aber, soweit Einzelheiten bekannt sind, nicht mit den eigentlichen Konstruktionselementen, z. B. mit den Brennelementen, zusammenhängen. Alle Bestellungen sind inzwischen widerrufen worden. Die Entwicklung scheint in den Vereinigten Staaten weitgehend zu ruhen. Zu einem eigentlichen Wettrennen zwischen den beiden Konstruktionen ist es nicht gekommen, obwohl dies durchaus nach wie vor möglich werden könnte.

### *Thorium wird interessant*

Allerdings müssen zur Verwirklichung dieses Zieles eine Reihe von Voraussetzungen geschaffen werden. Bei dem Brüten des Thoriums entsteht U 233, das zur Zeit aus rein politischen Gründen im Vordergrund des Interesses steht. Die Amerikaner, die die Sorge haben, daß allzu viel Plutonium in der Welt verbreitet wird, propagieren gerade jetzt diesen Weg sehr stark, obwohl sie ihn selbst kaum weiterverfolgt haben. Wegen seiner großen Gammastrahlung kann das U 233 leichter beobachtet werden und ist so für den möglichen Zugriff von Terroristen schwer zugänglich. Nachteil von U 233 ist aber, daß man zu seiner Gewinnung aus den ausgebrannten Brennstoffelementen ein andersartiges Wiederaufarbeitungsverfahren verwenden muß, und daß für die Rückführung des U 233 in die Brennelemente eben wegen der hohen Gammastrahlung eine Technik mit heißen Zellen erforderlich ist, die noch nicht entwickelt ist. Hier sind noch beträchtliche Schwierigkeiten technischer Art zu lösen.

Aber ganz unabhängig von dieser augenblicklichen Konkurrenzsituation haben die Hochtemperaturreaktoren große Zukunftsaussichten. Entscheidend ist eben die höhere Temperatur des Kühlkreislaufes und die damit erzielbare Verbesserung des Wirkungsgrades. Es steht schon fest, daß Temperaturen von 1000°C im Helium erreicht werden können. In einem Experiment mit dem UHTREX-Reaktor (Ultra High Temperature Reactor Experiment) in Los Alamos (USA) wurden Heliumaustrittstemperaturen von mehr als 1300°C erreicht.

Eine wirtschaftlich optimale Nutzung derart hoher Heliumtemperaturen ist aber erst möglich, wenn statt des sekundären Wasserkreislaufs mit Dampfturbine eine heliumangetriebene Gasturbine im direkten Kreislauf verwendet werden kann. Solche Gasturbinen versprechen einen Wirkungsgrad von 50% und mehr. Außerdem kann man dadurch ganz vom Kühlwasser abkommen und die nicht nutzbare Abwärme über Trockenkühler an die Atmosphäre abgeben. Dadurch würden solche Reaktoren verhältnismäßig standortunabhängig.

Vorbereitungen zur Entwicklung großer Heliumgasturbinen sind in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland begonnen worden. In Jülich soll nach und nach eine erste Demonstrationsanlage für eine Leistung von 300 MW entwickelt werden (HHT – Hochtemperaturreaktor mit Heliumturbine). Ein erster Schritt, der im wesentlichen der Erprobung von Materialien dient, ist Ende 1974 bei der Gutehoffnungshütte in Oberhausen erfolgt. Dort wird Helium in einer ölbefeuerten 50-MW-Kraftwerksanlage auf 750°C erhitzt und damit eine Gasturbine betrieben.

Eine andere wichtige Etappe ist der Helium-Hochtemperatur-Versuchsstand (HHV) in Jülich, wo man bei Temperaturen von 850–1000°C und einem Druck von 50 atü einen geschlossenen Wärmekreislauf errichtet. Hier kann das Verhalten von Komponenten bei Leistungen bis zu 100 MW untersucht werden. Die Hochtemperaturreaktoren versprechen also große Vorzüge gegenüber den Leichtwasserreaktoren hinsichtlich ihres Wirkungsgrades.

Ein besonderer Vorzug ist darüber hinaus die Verwendung des Thoriums, das zusätzlichen Kernbrennstoff in Gestalt von U 233 erzeugt. Bisher ist es allerdings noch nicht gelungen, einen echten Bruteffekt zu erzielen, d.h. der Konversionsfaktor bei der Bildung von U 233 aus Thorium konnte noch niemals über 1 gesteigert werden (s. S. 141).

Eine andere günstige Eigenschaft des Hochtemperaturreaktors ist auch, daß er im Core nur keramische Brennstoffe enthält. Hierdurch wird die Gefahr, daß das Core jemals zusammenschmilzt, wesentlich vermindert. Außerdem schließt Helium als Kühlgas Brandgefahren aus und wird durch Neutronen nicht aktiviert. Da es sich bei diesem Kühlmittel überdies um ein Gas handelt, das unter den vorliegenden Bedingungen niemals verflüssigt werden kann, ist auch eine Kühlungsstörung durch einen Phasenübergang, etwa das Verdampfen eines Kühlmittels, wie dies bei Leichtwasserreaktoren und bei dem natriumgekühlten Schnellen Brüter theoretisch immer möglich wäre, ausgeschlossen.

Schließlich aber tritt noch ein ganz besonderer Sicherheitsfaktor in Erscheinung. Der Temperaturkoeffizient der Hochtemperaturreaktoren gestattet eine einfache Betriebsweise.

Zur Demonstration dieser Erwartung wurde beim AVR in Jülich der Kühlstrom absichtlich unterbrochen. Der Reaktor schaltete sich infolge der leichten Erhöhung seiner Temperatur automatisch ab. Für seine innere Struktur blieb die Situation ohne Gefahr. Der im Core vorhandene Graphit ist in der Lage, eine große Wärmemenge ohne allzu starke Temperaturerhöhung aufzunehmen, so daß auch die Nachwärme beim Abschalten kurzfristig keine Gefahr mit sich bringt. Man kann zur Zeit annehmen, daß die gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren mit Graphitmoderator die sichersten Reaktoren der derzeitigen Entwicklung darstellen.

### *Nukleare Prozeßwärme*

Die hohe Temperatur des aus dem Kühlgaskreislauf austretenden Heliums von 950–1000 °C hat frühzeitig dazu angeregt, diese

Wärme für andere Zwecke direkt zu verwenden. Fast alle Vorschläge laufen darauf hinaus, die im Temperaturbereich von 600–1000 °C anfallende Wärme für eine chemische Umsetzung auszunutzen. Die verbleibende Spanne unterhalb 600 °C kann dann zur Erzeugung von Dampf bzw. elektrischer Energie herangezogen werden.

Die überhaupt erreichbare Temperatur-Höchstgrenze ist aus Materialgründen begrenzt. Die Wärme des heißen Heliums muß zunächst in einem Austauscher auf ein anderes Medium übertragen werden. Beim Bau des Wärmeaustauschers aber sind Temperaturgrenzen gesetzt. Man wird 1100 °C nicht überschreiten können, so daß bei einem Verlust von 100 °C im Austauscher eine Temperatur von 1000 °C im Gas für die Nutzung als Prozeßwärme zur Verfügung steht. Man kann also etwa ein Drittel der thermischen Leistung des HTR-Reaktors für wärmeverbrauchende Prozesse einsetzen.

In der Bundesrepublik Deutschland konzentriert sich das größte Interesse auf die Vergasung von Braunkohle und Steinkohle. Nach den klassischen Verfahren erfolgt diese Vergasung dadurch, daß die zur Vergasung der Kohle bzw. zur partiellen Verbrennung und zum Umsatz mit Wasserdampf erforderliche Wärme der Kohle selbst entnommen wird. Man benötigt etwa 40% des Wärmeinhalts der Kohle dazu, um in geeigneten Vergasungsapparaturen die übrigen 60% in Form von Kohle- oder Wassergas zu gewinnen. Wenn man nukleare Wärme des HTR einsetzt, so kann man diese 40% der Kohle einsparen.

Der Bau solcher Vergasungsanlagen bereitet nach dem heutigen Stand der Technik keine grundsätzlichen Schwierigkeiten. In der Autarkiezeit des Deutschen Reiches sind die verschiedensten Wege zur Nutzung der Braunkohle und Steinkohle beschritten worden. Es müssen also bekannte Verfahren aus der Kohlechemie im Gaskreislauf des Hochtemperaturreaktors zusammengefügt werden. Es handelt sich im wesentlichen darum, Wasserstoff oder Wasserdampf bei 800 oder 900 °C auf die Kohle einwirken zu lassen. Es entstehen Gasgemische aus Methan, Kohlenmonoxid, Wasserstoff

und Kohlendioxid, die außerdem die flüchtigen Bestandteile der Kohle enthalten. Nach geeigneter Reinigung und Umwandlung unter Erhöhung des Methangehaltes kann ein solches Gasgemisch als Brenngas an Haushalte und industrielle Verbraucher abgegeben werden. Es könnte eines Tages das Erdgas ersetzen, dessen Einsatz zur Zeit laufend zunimmt, und dessen Beschaffung auf lange Sicht schwierig ist und die westdeutsche Wirtschaft mangels eigener Rohstoffquellen in steigendem Maße von ausländischen Zulieferungen abhängig macht.

Es hat sich eine Arbeitsgruppe gebildet, an der die Bergbauforschung GmbH in Essen, die Gesellschaft für Hochtemperaturreaktor-Technik GmbH, die Hochtemperaturreaktor-Bau GmbH, die Kernforschungsanlage Jülich GmbH und schließlich die Rheinische Braunkohlenwerke AG beteiligt sind. Sie führt die Bezeichnung Arbeitsgruppe Nukleare Prozeßwärme (ANP). Sie wird aus öffentlichen Mitteln gefördert und hat jetzt unter der Bezeichnung »Prototyp-Anlage für nukleare Prozeßwärme« (PNP) eine Studie vorgelegt, die die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für eine Großversorgung mit Brenngas zusammenstellt. In letzter Konsequenz handelt es sich dabei um ein umfassendes Arbeitsgebiet, dessen Umfang gigantische Dimensionen annimmt.

Am Horizont zeichnen sich Perspektiven ab, nach denen der Hochtemperaturreaktor zum Mittelpunkt großer industrieller Ballungszentren wird. Z. B. hat die Stadt Hamburg ein solches Projekt vorgelegt. Da der Reaktor selbst nur in großen Dimensionen wirtschaftlich ist, nehmen auch die Anlagen, die seine Abwärme nutzen sollen, einen großen Umfang an.

Die genannte Studie legt eine Reaktorkapazität von 3000 MW thermisch zugrunde, in der pro Stunde 2200 t Braunkohle entsprechend einer Jahresmenge von 16–18 Mill. t vergast werden können. Eine solche Kapazität ist auch für die Verarbeitung von Rohbraunkohle, die in großen Mengen vor sich zu gehen pflegt, außergewöhnlich groß.

Die bei solchen Vergasungsprozessen entstehenden gasförmigen Bestandteile sind auch Ausgangsmaterialien für chemische Reak-

tionen. Sie können nach bekannten Verfahren ineinander umgewandelt werden.

1. $C + 2H_2 \rightleftarrows CH_4$
2. $C + H_2O \rightleftarrows CO + H_2$
3. $CO + H_2O \rightleftarrows H_2 + CO_2$
4. $C + 2H_2O \rightleftarrows 2H_2 + CO_2$

Diese Reaktionsprodukte sind u. a. Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Ammoniak, einem Hauptbestandteil synthetischer Düngemittel. Aus den gleichen Bestandteilen entsteht das Methanol, bei dem man heute daran denkt, es als Beimischung dem Automobiltreibstoff zuzusetzen, so wie andere sauerstoffhaltige Produkte.

Das interessanteste Produkt der Kohlevergasung ist Wasserstoff, der sich bisher in der Bundesrepublik Deutschland und in den meisten Industrieländern wirtschaftlich nur auf Basis fossiler Brennstoffe herstellen läßt. Dabei wird, wie die Gleichungen zeigen, ein Teil des fossilen Kohlenstoffs, mit dem möglichst sparsam umgegangen werden muß, in Kohlendioxid ($CO_2$) verwandelt, das nutzlos in die Atmosphäre geht. Die Kohlensäure spielt zwar für das Wachstum der Pflanzen eine fundamentale Rolle. Aber auch hier laufen bakterielle und enzymatische Reaktionen nicht ohne Mitwirkung des reduzierenden Wasserstoffs ab, der in der Biosphäre auf Umwegen aus Wasser erzeugt wird.

Das größte Interesse liegt bei der Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser, das den Menschen in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht. Dieses Ziel würde näherrücken, sobald man mit der Prozeßwärme des Hochtemperaturreaktors Energie auf hohem Temperaturniveau erhält.

Wasserstoff wird seit langem da, wo elektrische Energie billig zur Verfügung steht, beispielsweise in Norwegen und neuerdings auch am Assuandamm in Ägypten, durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. Diese Wasserelektrolyse aber hat einen sehr schlechten Wirkungsgrad und setzt das Vorhandensein billiger Wasserkraft voraus. Es bestehen zwar Ansätze, die Wasserelektrolyse bei hohen Temperaturen an neuartigen Elektroden mit kleinerem Energieein-

satz durchzuführen. Diese Arbeiten stecken aber erst in den Anfängen. Deswegen ist die Wasserelektrolyse bei normalen Stromkosten unwirtschaftlich.

Eine endgültige Lösung für die Herstellung von Wasserstoff wäre die thermische Spaltung von Wasser in seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff. Diese Reaktion erfordert einen hohen Energieeinsatz, der allerdings später bei der Verwendung des Wasserstoffs wiedergewonnen werden kann. Außerdem aber ist eine sehr hohe Temperatur notwendig. Bei 2000 °C erhält man erst 1 % Wasserstoff im Gasgemisch. Solche Temperaturen sind mit den bisherigen Mitteln kaum zu erzeugen und könnten nur gewonnen werden, wenn man den Prozeß unmittelbar mit Kernreaktionen verbinden könnte.

Man sucht daher nach thermischen Zwischenreaktionen, mit denen die Spaltung stufenweise bei niedrigeren Temperaturen erreicht werden kann. Alle diese Bemühungen führten bisher aber zu keinem technisch verwertbaren Verfahren.

Wenn man das Problem der billigen Herstellung von Wasserstoff lösen könnte, so wären damit große Möglichkeiten verbunden. Es wird z. B. daran gedacht, Wasserstoff als Transportmittel für Energie zu verwenden. Wasserstoff kann in hochkomprimierter Form ähnlich wie Erdgas durch Rohrleitungen über weite Strecken gepumpt werden. Er hat aber gegenüber Erdgas einen wesentlich höheren Wärmeinhalt bei gleichem Volumen. Wasserstoff läßt sich auch verflüssigen und wird jetzt schon in dieser Form in Straßentankwagen transportiert.

Wasserstoff als Transportmittel für Energie könnte sehr wohl eines Tages z. B. mit den Überlandleitungen für elektrischen Strom in Wettbewerb treten. Wasserstoff wird auch als Antriebsmittel für Kraftfahrzeuge in Aussicht genommen.

Eine Schwierigkeit beim Umgang mit Wasserstoff, die nicht vergessen werden darf, liegt allerdings in seiner leichten Brennbarkeit und in der großen Explosionsgefahr, wenn auch nur geringe Mengen Luft oder Sauerstoff hinzutreten. Große Rohrleitungen, die unter hohem Wasserstoffdruck stehen, sind ebenso gefährlich wie

Wasserstoffbehälter. Dies wird heute bei einschlägigen Plänen oft unterschätzt. Vielleicht gibt es aber auch hierfür eines Tages eine Lösung. Wasserstoff wirkt auch unter bestimmten Voraussetzungen korrosiv auf Eisen.

Eine interessante Anwendung von Wasserstoff liegt in der Direktreduktion des Eisenerzes unter Umgehung des Hochofens, der ja Koks verbraucht.

$$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$$

An allen diesen Problemen wird in der Welt mit großem Interesse gearbeitet. In Deutschland ist der Mittelpunkt dieser Arbeiten die Kernforschungsanlage in Jülich. Sie liegt außerdem mitten im rheinischen Braunkohlengebiet, wo der Bedarf an Prozeßwärme immer besonders groß ist. Andere Interessen liegen im Steinkohlebergbau an der Ruhr, wo die Bergbau-Forschung GmbH in Essen Mittelpunkt der Forschung ist.

Ein interessantes Teilexperiment läuft in der Kernforschungsanlage Jülich unter dem Namen EVA (Einzelspaltrohr-Versuchs-Anlage). Man setzt dort Methan mit Wasserdampf um:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

Diese Reaktion ist ein endothermer Prozeß, d.h. sie benötigt die Zuführung von Wärme.

Diese Wärme, die zur Aufheizung der Ausgangsgase und zum Bestreiten der Reaktionstemperatur notwendig ist, erzeugt man zur Zeit auf nichtnuklearem Weg. Man will sie später dem heißen Helium des Reaktors entnehmen. Das so erhaltene Gasgemisch ($CO + H_2$) ist ein wichtiges Ausgangsmaterial, etwa für die Herstellung von Methanol:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

Es ist auch daran gedacht, der EVA als Gegenstück die Anlage ADAM beizugeben. Man stellt sich vor, das Gasgemisch $CO + H_2$ über weite Entfernungen in Rohrleitungen dahin zu leiten, wo Wärmeverbraucher, beispielsweise Siedlungen, sind. Dort könnte die Reaktion dann in umgekehrter Richtung verlaufen, wobei Wärme entsteht. Die Umkehrung

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \text{ (ADAM)}$$

verläuft exotherm und liefert Wärme, die an Ort und Stelle genutzt werden kann. Anschließend müßte das Gemisch von Methan und Wasserdampf zum Hochtemperaturreaktor zurückgebracht werden.

Bei allen diesen Überlegungen weitet sich die Kernenergie zu einem Wirtschaftsgebiet aus, das über die Probleme der Energieerzeugung weit hinausgeht. Auf dem weiten Weg zur technischen Verwirklichung solcher Pläne sind noch große Schwierigkeiten zu überwinden. Viele der technischen Prozesse, die sich leichter konzipieren und beschreiben als realisieren lassen, müssen wirtschaftlich überlegt und technisch nachgearbeitet werden. Immer wieder spielen auch Materialfragen, oder auch die Beherrschung großer Gaskreisläufe unter hohen Temperaturen eine große Rolle, wobei Rohrleitungssysteme in dichtbesiedelten Gebieten bei der Verlegung Probleme hervorrufen.

Es wird noch lange dauern, bis solche Ideen großtechnisch realisiert werden können. Wichtig wäre zunächst, daß der Hochtemperaturreaktor selbst, dessen Entwicklung zur Zeit zu einem Stillstand gekommen ist, das Interesse wirtschaftlicher Gruppen fände, die seine Weiterentwicklung und Errichtung betreiben. Auch die staatliche Wissenschaftsförderung sollte sich dieses Problems annehmen.

Seit dem Rückschlag in den USA, der sich auch auf Deutschland ausgewirkt hat, ist es um die Pläne zur Weiterentwicklung der Hochtemperaturreaktorlinie bedauerlicherweise still geworden. Gerade diese Entwicklungsrichtung ist aber für ein Industrieland wie die Bundesrepublik Deutschland besonders interessant, zumal darin eine Menge eigenes Know-how steckt.

# Kapitel 9
# DER SCHNELLE BRÜTER

Im Leichtwasserreaktor wird von den zwei bis drei Neutronen, die bei der Spaltung frei werden, eines zur Fortführung der Kettenreaktion verwandt, der Rest geht verloren durch Absorption an U 238 und in dem Strukturmaterial. Das U 238 wird allerdings durch das Neutron in ein Pu 239 verwandelt, das seinerseits spaltbar ist. Dieser Konversionsprozeß gelingt nicht mit gutem Wirkungsgrad, so daß bei weitem weniger Plutonium entsteht, als U 235 verbrannt wird.

In einem Brüter hingegen sucht man diese Konversion in Plutonium so zu verbessern, daß auf jedes gespaltene Atom ein oder mehr als ein Plutoniumatom entsteht. Man spricht dann vom Brüten. Das Verhältnis »erzeugtes spaltbares Material (Plutonium) zu verbrauchtem spaltbarem Material (U 235)« heißt Brutfaktor und ist größer oder gleich 1. Ist dieser Faktor kleiner als 1, nennt man ihn Konversionsfaktor (s. S. 134). Im Leichtwasserreaktor beträgt er 0,5. Amerikanische und auch deutsche Kernphysiker, zum Beispiel Carl Friedrich von Weizsäcker, haben schon kurz nach dem Beginn der Arbeiten an der Kernspaltung, wie sie Hahn und Strassmann beobachtet hatten, aus theoretischen Überlegungen vorausgesagt, daß es möglich sein müßte, durch Anlagerung eines Neutrons an das U 238 zu einem Transuran, dem künstlichen Element Pu 239, zu kommen, das seinerseits spaltbar ist. Auf dem Umweg über das Plutonium erhält also auch das U 238 im Reaktor die Eigenschaften eines Kernbrennstoffs.

Das Plutonium, das in jedem Kernreaktor, der U 238 enthält, entsteht, liefert beim Zerfall eine größere Anzahl Neutronen als das U 235. Es ist also seinerseits geeignet, gemeinsam mit U 235 oder für sich allein U 238 in Pu 239 umzuwandeln.

Um dieses Ziel zu erreichen, gilt es, im Brutreaktor eine sehr viel bessere Neutronenökonomie zu erreichen. Im Schnellen Brüter werden die Neutronen deswegen nicht verlangsamt. Es muß ohne Moderator gearbeitet werden. Der Kern ist umhüllt mit U 238, um auch die austretenden Neutronen durch Konversion auszunützen.

Das Core und der Reaktor sind deshalb wesentlich kleiner. Aus diesem kleinen Kern muß eine verhältnismäßig große Wärmemenge abgeführt werden. Als Kühlmittel verwendet man flüssiges Natrium. Seine Temperatur kann auf 450–600 °C ansteigen, ohne daß es einen annähernd so hohen Druck wie das Wasser entwickelt.

Bild 11 Farbbildteil S. VI zeigt schematisch eine solche Anordnung. Im Core befindet sich – in Form von Stäben – das angereicherte Uran oder Plutonium, das mit U 238 vermischt ist. Das Kühlmittel Natrium fließt an den Stäben entlang und gibt seine Wärme in einem Wärmeaustauscher an einen zweiten Natriumkreislauf ab, der seinerseits die Wärme an den Dampferzeuger weiterleitet.

Solche Brüter der ersten Generation wurden auch in anderen Ländern gebaut, z.B. in England, Frankreich und in Rußland.

Eine erste Anordnung dieser Art war unter dem Namen »Clementine« in Los Alamos, USA, von 1946–1953 in Betrieb. Der Reaktor arbeitete schon mit schnellen, nicht moderierten Neutronen und mit Plutonium als Brennstoff sowie Natrium als Kühlmittel.

Ein wirklicher Schneller Brüter, der experimentelle Brutreaktor EBR 1, hat im Jahre 1951 im US-Staat Idaho zum ersten Mal auch elektrischen Strom erzeugt. Als kleines Versuchskraftwerk, noch dazu als Brüter mit seiner ganz neuen Technik, hatte er viele Schwierigkeiten. Er mußte stillgelegt werden, als ein Unfall sein Core zerstörte.

Wesentlich erfolgreicher war dann der EBR 2, der 1963 in Idaho auf dem Reaktorversuchsgelände in Betrieb kam, und anders als der

EBR 1 auch heute noch arbeitet. Diese beiden ersten Reaktoren lieferten wertvolle Kenntnisse für die Lösung weiterer Probleme. Selbstverständlich waren es noch keine echten Brüter mit einem Brutfaktor von mehr als 1.

In Deutschland begann das Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik in Karlsruhe die Schnellbrüterentwicklung schon bald nach Abschluß der Konstruktionsarbeiten zum Reaktor FR 2. Der damalige Leiter der theoretischen Abteilung des Instituts, Wolf Häfele, wurde für ein Jahr an das Oak Ridge National Laboratory entsandt, um die Problematik der Brüterentwicklung an der Quelle zu studieren. Mitte 1960 wurde dann in Karlsruhe offiziell das »Projekt Schneller Brüter« begonnen.

Zunächst wurden verschiedene Kühlmittel – Natrium, Helium und Wasserdampf – erprobt. Heute liegt auch in Deutschland der Schwerpunkt beim Natrium. Die zukunftsträchtige Kühlungsmöglichkeit mit Helium wird einstweilen nur nebenher verfolgt.

Ein großer Teil des Kernforschungszentrums Karlsruhe hat sich inzwischen der Entwicklung der Schnellen Brüter zugewandt. Euratom schloß sich 1963 der Zusammenarbeit an. Es wurde ein gemeinsames fünfjähriges Forschungs- und Entwicklungsprogramm entworfen. Über Euratom wurden Verbindungen zu dem belgischen Atomforschungszentrum CEN in Mol und dem niederländischen Reaktorzentrum RCN in Petten geknüpft und schließlich auch Kontakte zur amerikanischen Atomenergiekommission aufgenommen. Einen engen Informationsaustausch gab es schließlich auch mit dem französischen Zentrum in Cadarache. Aus diesen internationalen Beziehungen entstand ein erstes deutsches Forschungsprogramm, in dem Arbeiten über Physik, Brennstoff- und Materialforschung, erste Konstruktionsstudien, Sicherheitsüberlegungen und die Bewertung der verschiedenen Kühlmittel zusammengefaßt waren.

Worin liegen die Schwierigkeiten, die bei der Konstruktion eines Schnellen Brüters berücksichtigt und überwunden werden müssen?

Flüssiges Natrium ist kein sehr angenehmes Kühlmittel. Es be-

darf zum Transport im Reaktorsystem besonderer Spezialpumpen, und es darf nicht mit Wasser in Berührung kommen.

Beim Schnellen Brüter ist es überdies von besonderer Bedeutung, daß der Kühlmittelkreislauf niemals ausfällt. Während in einem Leichtwasserreaktor das Ausbleiben des Kühlmittels schließlich zur automatischen Abschaltung des Reaktors führt, ist es hier anders. Ein Verlust an Kühlmittel schon durch eine darin enthaltene Dampfblase bedeutet eine Erhöhung der Kritikalität und eine Leistungssteigerung. Diese Leistungssteigerung kann ihrerseits dazu führen, daß weiteres Kühlmittel ausgetrieben und eine zu große Energiemenge frei wird. Dadurch kann es zwar nicht zu einer Explosion wie bei einer Atombombe, aber immerhin zu einer Überhitzung kommen.

Dieses erste Problem, nämlich die Zerstörung durch Überhitzung, wurde von den USA im SEFOR-Reaktorexperiment (Southwest-Experimental Fast Oxide Reactor), an dem sich die Deutschen auch finanziell beteiligten, angegangen. Dieses kostspielige Experiment diente der Untersuchung des sogenannten Dopplereffektes der Reaktivität. Die Theorie sagte voraus, daß aufgrund dieses Effektes trotz der geschilderten Schwierigkeiten und Gefahren eines Temperaturanstieges bei Ausbleiben des Kühlmittels eine Selbstregelung, d.h. eine Verminderung der Kettenreaktion auftritt.

Reaktivität ist hier ein Maß für die Fortpflanzung der Kettenreaktion, d.h. der Neutronenökonomie. Man definiert diese Reaktivität mit dem Wert 0, wenn der Reaktor mit gleichbleibender Neutronenentwicklung arbeitet. Wächst die Reaktivität über den Wert 0 hinaus, zum Beispiel durch Ausfahren der Regelstäbe, so nimmt die Leistung des Reaktors zu. Ein auftretender Dopplereffekt sorgt also dafür, daß bei höherer Temperatur die Uranatome eine höhere Geschwindigkeit erhalten und deshalb die Neutronenverluste zunehmen. Dadurch wird die Kettenreaktion sozusagen automatisch gebremst.

Für die Chancen einer Brüterentwicklung war es eine lebenswichtige Voraussetzung, daß diese Theorie durch ein Experiment bewiesen wurde, zu dem sich verschiedene Energieversorgungsunternehmen aus dem Südwesten der USA zusammenschlossen. Der Aufbau erfolgte durch die General Electric. Die Deutschen beteiligten sich mit einem Betrag von 5 Mio. Dollar an diesem Experiment. Der SEFOR-Reaktor wurde für solche Exkursionsexperimente in der Nähe von Fayetteville in Arkansas errichtet. Es ging darum, daß er eventuell zerstört wurde, wenn der Effekt nicht eintrat. Es war ein historisches Experiment, das im Jahre 1971 unter Mitwirkung von Karlsruhe stattfand, und in der internationalen wissenschaftlichen Welt großes Aufsehen erregte. Es bestätigte die Dopplerrückwirkung auf die Reaktivität eines mit Plutonium als Brennstoff betriebenen Brutreaktors. Die Reaktivität ließ nach. Der Reaktor wurde nicht zerstört.

Damit war eine erste grundsätzliche Voraussetzung für einen technischen Brüterbetrieb gegeben. Eine solche Zusammenarbeit bei einem so aussagekräftigen und lebenswichtigen Experiment erforderte viel gegenseitiges internationales Verständnis und hat die amerikanisch-deutsche Zusammenarbeit sehr gefördert.

Die Kühlung mit Natrium hat auch ein weiteres Problem zur Folge. Das Kühlmittel selbst wird durch Neutronenstrahlung radioaktiv, so daß ein Leistungsreaktor eine sehr große Radioaktivität enthält. Dieses radioaktive Natrium des primären Kühlkreislaufes kann deswegen bei der technischen Ausführung nicht direkt in Dampferzeugern Wasserdampf zum Turbinenantrieb produzieren. Man muß vielmehr vom primären Kühlkreis die Wärme auf einen sekundären Natriumkreislauf übertragen, der dann erst den Dampf erzeugt. Hierdurch entstehen zusätzliche Komplikationen und Kosten.

Bei den ersten Konstruktionen wurde das Hauptgewicht auf ein möglichst hohes Brutverhältnis gelegt, weil sich dann eine starke Plutoniumausbeute ergibt. Zu Beginn der 60er Jahre zeigte sich je-

doch, daß übergroße Kühlprobleme entstehen, wenn man ein allzu kleines Core anwendet. Deswegen setzt man statt des metallischen Uran-Plutonium-Gemisches heute vielfach Uran-Plutonium-Oxide im Kernbrennstoff ein.

Diese Oxide enthalten Sauerstoff, der moderierende Eigenschaften besitzt. Dadurch werden in den Reaktoren die Neutronengeschwindigkeiten herabgesetzt. Sie sind damit in ursprünglichem Sinn keine schnellen Reaktoren mehr, sondern haben einen sogenannten »intermediären Charakter«.

Eine solche geringere Leistungsdichte hat selbstverständlich eine Herabsetzung des Brutfaktors zur Folge. Sie vermehrt aber zugleich die Chancen, in Brütern eines Tages mit Erfolg gasförmige Kühlmittel zu verwenden und so die mit Natrium verbundenen Gefahren zu reduzieren.

Zur weiteren Vorbereitung wurden in Karlsruhe eine Reihe kostspieliger Versuchsanlagen errichtet. Zum Studium der Physik des Cores wurde die sogenannte »Schnelle Nullenergie-Anlage Karlsruhe« (SNEAK) errichtet, in der ein ganzes Brütercore mit Plutonium und Uran 238 aufgebaut und vermessen werden konnte. Gleichzeitig wurden umfangreiche Rechenprogramme für die großen Karlsruher IBM-Computer entwickelt, deren Brauchbarkeit man dann am Coremodell in der SNEAK überprüfte.

Um Erfahrungen mit Natrium als Kühlmittel zu gewinnen, wurde die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage (KNK) gebaut. Dieser Leistungsreaktor von 50 MW enthielt in seinem Core zunächst einen Moderator (Zirkonhydrid), verwendete also thermische Neutronen. Die KNK wurde 1971 kritisch. Später wurde ein schnelles Core eingefügt, d.h. eine Einrichtung ohne Moderator, das nun mit schnellen Neutronen arbeitet.

In den Jahren 1967/68 war es dann soweit, daß man den endgültigen Plan des Prototyps entwerfen konnte. Es war ein mit flüssigem Natrium als Kühlmittel und dem Mischoxid $UO_2$ und $PuO_2$ als Brennstoff konzipierter Brutreaktor, der heute den Namen SNR 300 (Schneller Natrium-Reaktor mit 300 Megawatt) trägt.

Die Verhandlungen über diesen Plan waren entsprechend den Verhältnissen in der Bundesrepublik außerordentlich schwierig. Es kam zunächst darauf an, ein Unternehmen zu finden, das die Verantwortung übernahm und auch finanzieren half. Das Kernforschungszentrum Karlsruhe übernahm ein sogenanntes Basisprogramm. Die eigentliche Reaktorentwicklung liegt bei Interatom.

70% der Kosten werden von Deutschland, je 15% von Belgien und Holland getragen. Dazu mußten eine Reihe internationaler Verträge geschlossen werden. So gründete die deutsche Gesellschaft Interatom zusammen mit der belgischen Belgonucleaire, der holländischen Neratom und der Luxemburger Luxatom die Internationale Natrium-Brutreaktor-Baugesellschaft (INB) mit dem Ziel, das Prototyp-Kraftwerk gemeinsam zu entwickeln und zu bauen.

Als Auftraggeber wurde unter weitgehender Förderung durch die Regierungen eine Schnellbrüter-Kernkraftwerks-Gesellschaft (SBK) ins Leben gerufen, an der die Elektrizitätsversorgungsunternehmen, das RWE in der Bundesrepublik Deutschland, Synatom in Belgien und SEP in Holland, beteiligt sind.

Um den Standort mußte lange verhandelt werden. Er wurde schließlich in Kalkar am Niederrhein gefunden.

Am industriellen Programm nimmt von deutscher Seite auch die Firma Nukem maßgeblich teil. Sie ist zusammen mit der Belgonucleaire für die Brennstoffentwicklung verantwortlich.

Nach 10 Jahren Grundlagenforschung, der Entwicklung aller Komponenten und der Konstruktionsstudien, begann im Jahre 1973 schließlich der Bau in Kalkar. Ähnliche Brüter dieser ersten Generation wurden auch in anderen Ländern gebaut.

Die Daten all dieser Prototypen sind einander ähnlich. Der Stand der Arbeiten ist jedoch recht verschieden. Der französische Reaktor ist in Betrieb und läuft mit voller Leistung. Auch der englische Reaktor ist inzwischen kritisch geworden. Die Projekte in Amerika und der Sowjetunion liegen weit zurück und werden noch einige Zeit bis zur Fertigstellung benötigen. Das Hauptproblem bei der

Errichtung und bei der Inbetriebnahme wird immer darin bestehen, daß die Lizenzierungsbedingungen in den USA und in Deutschland sehr viel schärfer gefaßt sind als etwa in Frankreich.

Das Projekt des Schnellen Brüters SNR 300 ist immer wieder starken öffentlichen Diskussionen unterworfen. Dabei geht es zunächst, genau wie in Amerika, um die grundsätzliche Frage, ob das schnelle Brüten der richtige Weg zur Brennstoffbeschaffung ist. Weiterhin geht es selbstverständlich um die Fragen der Sicherheit, die mit Recht immer wieder diskutiert werden. Dem kann man nur entgegenhalten, daß die sorgfältigen Vorkehrungen mit kostspieligen Experimenten alle Voraussetzungen in sich bergen, daß die erforderliche Sicherheit gegeben ist.

Schließlich werden nicht zuletzt auch immer wieder die Kosten diskutiert, die jetzt einschließlich aller Vorkosten in Deutschland auf 3 Mrd. DM geschätzt werden. Der leistungsgleiche 300-MW-Prototyp der Amerikaner, der sogenannte Clinch River Reactor in Tennessee, wird derzeit bis zur Fertigstellung auf eine Summe von 1,7 Mrd. Dollar veranschlagt.

Die Kritik, die an diesen Arbeiten einsetzt, besteht in mancher Beziehung zu Unrecht. So ist es z. B. nicht gerechtfertigt, die Kosten dieses Reaktors mit seiner erzielbaren Leistung in Beziehung zu setzen. Es handelt sich hier um einen Prototyp, in dessen Kosten alle kostspieligen Vorarbeiten, die in den vorangegangenen 10 Jahren als Forschungsaufwand entstanden waren, eingeschlossen sind.

Es ist vollständig verfrüht, Rechnungen anzustellen, ob der Schnelle Brüter rentabel sein wird. Man muß erstens den technischen Betrieb abwarten und die Kosten des Kernbrennstoffs kennen, die zur Zeit immerhin einen politischen Hintergrund haben.

Die öffentliche Meinung erregte sich noch einmal, als im Jahre 1974 bekannt wurde, der Schnelle Brüter werde in der ersten Anordnung gar nicht brüten, d. h. nur einen Brutfaktor $< 1$ erreichen. Unter dem Druck ihrer finanziellen Lage hatte sich die Bestellerfirma entschlossen, die erste Coreausführung auf Kosten des Brütens zu verbilligen und erst zu einem späteren Zeitpunkt einen Umbau vorzunehmen, der dann einen Brutfaktor von größer als 1

einzustellen gestattet. Diese vorübergehende Einschränkung ist für das grundsätzliche Experiment von untergeordneter Bedeutung.

Selbstverständlich wird auch schon überlegt, wie das Brüterproblem weiter behandelt werden soll. Die Tatsache, daß Frankreich mit seinem bereits arbeitenden Schnellbrüter Phénix einen bedeutenden Vorsprung erreicht hat, wird die Entscheidungen an anderen Stellen in der Welt beschleunigen. So bereitet man dort jetzt einen Superphénix, einen Typ von etwa 1000 MW, vor. Inzwischen ist im Sommer 1977 zwischen Frankreich und Deutschland ein Abkommen unterzeichnet worden, nach dem die beiden Länder an diesem Objekt zusammenarbeiten.

### *Bleibt es bei der Natriumkühlung?*

In der Bundesrepublik Deutschland ist auch daran gearbeitet worden, einen Schnellen Brüter mit Dampfkühlung zu entwickeln. Dies hätte den sehr großen Vorteil, daß auf eine breite Erfahrung mit der Dampftechnologie bei konventionellen Kraftwerken zurückgegriffen werden könnte. Es bringt aber auch eine Reihe Nachteile mit sich.

Zunächst hat der Wasserdampf den Nachteil, daß er zwischen zwei Phasen wechselt und bei Temperaturschwankungen vom dampfförmigen in den flüssigen Zustand oder umgekehrt übergehen kann, was zu großen Reaktivitätsstörungen im Reaktor führen kann. Auch Korrosionsprobleme spielen eine Rolle.

Diese Schwierigkeiten hätten vielleicht noch überwunden werden können. Ein viel schwerwiegenderer Nachteil jedoch ist, daß sich für schnelle Brutreaktoren mit Dampfkühlung ein sehr schlechter Brutfaktor errechnet. Es ist sogar anzunehmen, daß ein echtes Brüten mit diesem Reaktor vielleicht nie erreicht werden kann. Damit wäre natürlich der wesentliche Antrieb entfallen, überhaupt derartige Ideen weiter zu verfolgen. Nach jahrelangen Bemühungen haben deshalb das Kernforschungszentrum Karlsruhe und die ebenfalls beteiligte Industrie (die AEG) im Frühjahr 1974 auch offiziell diese Arbeiten abgeschlossen.

Wesentlich aussichtsreicher erscheint die Gaskühlung mit Helium. Helium hat in diesem Zusammenhang wesentliche Vorteile. Es ist ein einatomiges Gas, das durch Kernstrahlungen nicht zerstört werden kann. Es absorbiert keine Neutronen und kann nur in einer Phase auftreten. Helium ist chemisch inert und greift deswegen die Materialien im Core und in den primären Kreisläufen nicht an. Es kann bis auf sehr hohe Temperaturen erhitzt werden und bringt vor allen Dingen keine Reaktivitätsstörungen in den Reaktor. Ob das Edelgas einen hohen oder niedrigen Druck hat, beeinflußt die Reaktivität eines schnellen Reaktors nur unwesentlich, zumindest können die gefürchteten Leistungsexkursionen dabei nicht auftreten.

Schon 1967 wurde deshalb von Karlsruhe der Vorschlag gemacht, die schon früher in Betracht gezogene Heliumkühlung für schnelle Brutreaktoren wieder aufzugreifen. Der Vorschlag wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie grundsätzlich gebilligt. Die Firma KWU soll bei diesen Arbeiten der Industriepartner sein. Zugleich wurde ein sehr enger, inzwischen auch vertraglich festgelegter Erfahrungsaustausch mit der General Atomic Company in San Diego in Kalifornien begonnen.

Aber auch das Helium hat Nachteile, die erwähnt werden müssen. Vor allen Dingen ist bei Helium, wie bei allen gasförmigen und dampfförmigen Kühlmitteln, zur Abführung einer angemessenen Wärmemenge aus einem relativ kleinen Core ein hoher Gasdruck notwendig. Er muß in der Größenordnung von etwa 80 Atmosphären liegen. Wenn man auch die Vorteile der möglichst hohen Temperatur ausnutzen will, so ist es auf lange Sicht unumgänglich, anstelle der metallumhüllten Brennelemente keramische zu verwenden. Sie werden dann nicht mit Stahl ummantelt, sondern mit einem keramischen Material, z.B. Graphit.

Solche Substanzen wiederum haben unerwünschte moderierende Eigenschaften, d.h. die Neutronengeschwindigkeiten werden stärker herabgesetzt. Der Bruteffekt wird dadurch beeinträchtigt. Welcher Bruteffekt bei einer solchen Anordnung mit Helium erreicht werden kann, ist noch nicht sicher.

Andererseits ist zur Zeit der echte Bruteffekt eines natriumgekühlten Schnellen Brüters soviel niedriger, die Verdopplungszeit so lang und seine Einführung so schwierig, daß es noch 1–2 Jahrzehnte dauern wird, bis eine solche Brütergeneration in Serie gebaut werden kann.

Hier könnte ein Reaktor mit einem hohen Brutfaktor, wie der gasgekühlte Schnellbrüter, helfen. Allerdings nur unter der Voraussetzung, daß die Plutoniummenge, die zum Start des Brüters notwendig ist, nicht zu groß ausfällt. Es scheint dem Einfluß der deutschen Gruppe gelungen zu sein, die amerikanische und die deutsche Entwicklung einander anzunähern. Vielleicht wäre es eines Tages denkbar, daß sich die westliche Welt auf einen einzigen Prototyp dieser Art mit einer ersten Leistung von 300 MW einigte.

Die hohen Entwicklungskosten, die heute ein solcher Prototyp bis zur echten Erprobung erfordert, würden ein starkes Argument für eine solche internationale Zusammenarbeit darstellen. Dies aber wäre ein wesentlicher Schritt in die Zukunft. Die weitere Entwicklung der natriumgekühlten Schnellen Brüter sollte dadurch nicht beeinträchtigt werden. Es gibt ohnedies in neuester Zeit genug Hindernisse, welche diese Entwicklung hemmen.

Der Einwand der USA, daß auf diese Weise die Plutoniumtechnologie allzu sehr verbreitet wird, hat rein politische Motive. Es mag denkbar sein, daß die USA auf den Schnellen Brüter zeitweilig verzichten. Die generelle Entwicklung aber kann an dem Schnellen Brüter nicht vorbeigehen, weil andernfalls die Nutzung des Natururans viel zu unökonomisch würde. Schon nach wenigen Jahrzehnten wäre die Kernenergie mit ihrer Rohstoffversorgung wieder am Ende.

# Kapitel 10
# KERNFUSION

Als im Jahre 1952 die von Edward Teller entwickelte erste Wasserstoffbombe mit einer gewaltigen Explosion ein kleines Atoll im Stillen Ozean zum Verschwinden brachte, war der experimentelle Beweis für die Vorstellung erbracht, die sich die Physik über den Ursprung der Sonnenenergie bisher gemacht hatte.

Ende der 30er Jahre hatten unabhängig voneinander in Deutschland Carl Friedrich von Weizsäcker und der in die USA aus Deutschland emigrierte Hans Albrecht Bethe die Mechanismen überlegt, nach denen sich über mehrere Zwischenstufen die Umwandlung von Wasserstoffkernen, also von Protonen, zu einem Heliumkern vollzieht. Daß auf diesem Vorgang die Energie der strahlenden Fixsterne beruhte, hatte man schon früher angenommen.

Hinsichtlich des Energieinhaltes und des Reaktionsvermögens bestehen zwischen den leichten Atomkernen wie Wasserstoff und Helium bis zu den Elementen in der Mitte des periodischen Systems und den schweren Atomkernen, wie z.B. dem Thorium und dem Uran, grundsätzliche Unterschiede. Die schweren Atomkerne zerfallen beim Beschuß mit Neutronen in kleine Bruchstücke. Darauf beruht die Kernspaltung. Bei leichten Kernen dagegen wird durch ihr Verschmelzen zu schweren Kernen Energie frei. Darauf beruht die Kernfusion. Die Verschmelzung der Atomkerne findet allerdings nur bei sehr hohen Temperaturen, wie sie in den Sternen vorkommen, statt.

In der Wasserstoffbombe wurde die hohe Temperatur von 50–100 Millionen Grad erreicht, indem eine normale Atombombe – also eine Kernspaltung – die Zündung für die Fusion der Wasserstoffatome zu Helium auslöste. Das militärische Ziel der maximalen Zerstörung wurde auf diesem Weg schnell und verhältnismäßig einfach erreicht und damit eine neue Generation der Atombomben geschaffen.

Das Ziel, diese Fusion so auszulösen und zu beherrschen, daß sie zu einem kontinuierlichen Prozeß der Energieerzeugung gebändigt wird, ist bis heute nicht gelungen. Die Schwierigkeiten liegen darin, die Materie auf eine solch hohe Temperatur zu bringen und eine gewisse Zeitlang im Reaktionsraum zusammenzuhalten.

Die Physiker haben diese Schwierigkeiten zunächst erheblich unterschätzt. Schon bei der 2. Atomkonferenz in Genf im Jahre 1958, also vor nahezu 20 Jahren, wurden von den Amerikanern, den Engländern und den Russen Versuchsanordnungen vorgeführt, von denen man sich die unmittelbar bevorstehende Lösung der Kernfusion versprach. Es ging damals in Genf schon die Meinung um, daß man vielleicht die Kernspaltung gar nicht weiter bearbeiten müsse, um sich unmittelbar der Kernfusion zuwenden zu können.

Als günstigste Materie für die Verschmelzung erweisen sich die Isotope des Wasserstoffs, das Deuterium und das Tritium. Ihre Verschmelzung erfordert Temperaturen von etwa 50 Millionen Grad. Der eine Reaktionspartner, das Deuterium, ist zu einem kleinen Anteil, etwa zu 0,014%, im Wasserstoff des gewöhnlichen Wassers enthalten und kann daher in praktisch unbegrenzter Menge aus den Weltmeeren gewonnen werden. Der andere Partner, das Tritium, kommt in der Natur nicht vor, da sein Kern instabil ist und mit einer Halbwertszeit von 12,4 Jahren durch Weiterzerfall in Helium der Masse 3 übergeht. Tritium kann aber künstlich erzeugt werden, wenn Lithium mit Neutronen bestrahlt wird.

Auf diese Weise wurde schon das für den Bau von Wasserstoffbomben benötigte Tritium in den USA gewonnen. Bei der Verschmelzung von Deuterium mit der Masse 2 und Tritium mit der Masse 3 entsteht ein Helium der Masse 4 und ein Neutron mit der

Masse 1, die beide mit großer Energie auseinanderfliegen. Diese Bewegungsenergie wird letzten Endes in Wärme umgesetzt. Das Neutron wird genutzt, um durch Reaktion mit Lithium neues Tritium zu erbrüten. Deswegen wird zum Bau der ersten Kernfusionsreaktionskammern ein Mantel aus Lithium notwendig sein. Allerdings wird dadurch das Lithium verbraucht.

Das in der Natur vorkommende Lithium besteht aus zwei Isotopen, Lithium 7 mit 92,5% und Lithium 6 mit 7,5%. Als in den USA die Wasserstoffbomben entwickelt und in großer Zahl hergestellt wurden, mußte die Erzeugung von metallischem Lithium, das bis zu diesem Zeitpunkt nur im Ausmaß von wenigen Tonnen als Legierungsbestandteil benötigt wurde, stark erhöht werden. Die Welterzeugung liegt jetzt bei mehr als 30000 Tonnen im Jahr. Aus Gründen der Neutronenökonomie bevorzugt man für die Wasserstoffbombe Lithium 6. Es nimmt ein Neutron auf und zerfällt dann in Helium mit der Masse 4 und Tritium mit der Masse 3. Der große Verbrauch von Lithium 6 für diese militärischen Zwecke führte dazu, daß auf dem Weltmarkt Lithiumsalze angeboten wurden, deren Gehalt an Lithium 6 nur noch ca. 40–45% des natürlichen Anteils entspricht. Wissenschaftler versuchten, aus dieser Differenz die Menge zu errechnen, die für Wasserstoffbomben eingesetzt worden waren. Die wirkliche Lithiumproduktion ist deshalb immer noch unklar.

Die Lithiumvorräte in der Welt sind zwar sehr umfangreich. Sie sind etwa doppelt so hoch wie diejenigen des Urans und Thoriums zusammengenommen. Aber sie sind eben doch übersehbar. Die Kernfusion durch Reaktion von Deuterium mit Tritium ist deswegen begrenzt durch die Lithiumvorräte der Erde. Ihre Möglichkeiten sind auch begrenzt durch die Verfügbarkeit von Metallen wie Beryllium und Niob, die man als Strukturmaterial benötigt und die nicht allzu häufig sind.

Eines Tages wird man dann auf andere mögliche Fusionsreaktionen zurückgreifen müssen, etwa Deuterium mit Deuterium oder Deuterium mit dem Heliumisotop der Masse 3. Solche Reaktionen würden allerdings die Herstellung und Handhabung von noch hö-

heren Temperaturen erfordern. Die Herstellung und Handhabung extremer Temperaturen ist aber schon für die Reaktion von Deuterium mit Tritium außerordentlich schwierig und stellt das eigentliche technische Problem der Kernfusion dar.

Um den Verschmelzungsvorgang zur friedlichen Energieerzeugung zu nutzen, steht man vor einer doppelten Aufgabe. Es gilt, eine Konstruktion zu finden, in der die zu verschmelzende Materie, also das Deuterium und das Tritium, auf die erforderliche Temperatur erhitzt werden kann, ohne dafür eine Zündung durch Atombomben zu benötigen. Ferner ist die dann einsetzende Kernfusion in ihrer Geschwindigkeit so einzudämmen, daß sie nicht zur Explosion führt, sondern mit gleichmäßig verlaufender Geschwindigkeit die sehr großen Energiemengen an die Umgebung abgibt.

### *Das Plasma*

Aus den Bemühungen um diese Lösung entstand die »Hochtemperatur-Plasmaphysik«.

Das Gemisch aus den sehr hoch erhitzten Atomkernen – z. B. Deuterium (D) – mit den aus den ursprünglichen Atomen freigesetzten Elektronen nennt man »Plasma«. Physiker sehen ein solches Plasma als einen vierten Zustand der Materie an, den sie neben die geläufigen Formen fest, flüssig und gasförmig stellen.

Das Studium der Plasmaphysik ist ein neues Wissenschaftsgebiet geworden, auf dem sich mit großem Einsatz viele Länder betätigen. Neben den USA und der Sowjetunion befassen sich alle europäischen Industrienationen damit. In der Bundesrepublik Deutschland wurde im Jahre 1960 das Institut für Plasmaphysik (IPP) gegründet, das zunächst eine selbständige Organisation war, heute aber der Max-Planck-Gesellschaft angeschlossen ist.

Auch im Fall des Garchinger Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik ist ähnlich wie bei der Gründung von Karlsruhe die Gründungsinitiative vom Max-Planck-Institut für Physik und seinem Leiter Werner Heisenberg ausgegangen.

Die Basis war eine grundsätzliche Entscheidung der Atomkom-

mission und des Bundesministers für Atomkernenergie und Wasserwirtschaft im Oktober 1959. Später wurden auch in den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich Untersuchungen zur Kernfusion durchgeführt. Die deutsche Wissenschaft steht auf diesem Gebiet in engem Gedankenaustausch mit nahezu allen einschlägigen Institutionen in der Welt. Gerade weil das Problem so schwierig ist und die Lösung der Aufgabe noch so fern zu liegen scheint, besteht eine so rege internationale Zusammenarbeit.

Da keine Werkstoffe existieren, die den hohen Plasmatemperaturen von ca. 50 Millionen Grad wiederstehen können, muß das Plasma durch magnetische Felder zusammen- und von der Gefäßwand ferngehalten werden. Es gibt eine Reihe von Vorschlägen für derartige »Maschinen«. An dieser Stelle soll die sogenannte TOKAMAK-Maschine beschrieben werden, deren Prinzip in Rußland entwickelt worden ist.

In einer ringförmigen Röhre, dem Torus, wird mit Spulen ein ebenfalls ringförmiges Magnetfeld erzeugt, durch dessen Wirkung das Plasma zur Ringachse hin zusammengedrückt wird. Mit einem weiteren Magnetfeld, dessen Feldlinien in Richtung der Spulenachse laufen, wird im Plasma ein aufheizender Strom erzeugt. Das im Magnetfeld schwebende Plasma muß jetzt eine genügende Zeit auf der hohen Temperatur gehalten werden. Ist das Plasma ausreichend dicht, befinden sich also eine sehr große Teilchenzahl in jedem Kubikzentimeter, so ist nur eine sehr kurze Zeit erforderlich. Verdünnt sich das Plasma auf etwa $10^{15}$ bis $10^{14}$ Teilchen pro Kubikzentimeter, so muß die Brenndauer mindestens eine Sekunde betragen.

Dieser Zusammenhang wird durch das sogenannte »Lawson-Kriterium« geregelt, das der englische Physiker J. D. Lawson aufgestellt hat. Danach muß das Produkt aus Teilchendichte und Brennzeit etwa $10^{14}$ Sekunden pro Kubikzentimeter ausmachen, um mit einem thermischen Wirkungsgrad von 30% aus einem Fusionsreaktor mit einer positiven Energiebilanz Strom zu entziehen. In der TOKAMAK-Maschine ergäbe sich eine solche Teilchendichte von etwa $10^{14}$ je Kubikzentimeter. Die Brenndauer sollte

deshalb mindestens eine Sekunde betragen. Der Fusionsvorgang müßte dann pulsierend wiederholt werden.

Zu den technologischen Problemen eines solchen Fusionsreaktors zählt vor allem die wirtschaftliche Erzeugung sehr starker Magnetfelder mit großem Umfang. Ferner ist die Entwicklung der zugehörigen Werkstoffe nötig, die sowohl Energie als auch Neutronenbestrahlung aushalten.

Um solche großen Magnetfelder zu erzeugen, kommen wohl zweckmäßigerweise Magnete mit supraleitenden Spulen in Frage. Ein Supraleiter arbeitet bei extrem tiefen Temperaturen, bei denen der elektrische Widerstand der Metalle verschwindet. Die dafür erforderliche Kühlung muß mit flüssigem Helium geschehen. Die notwendigen Feldstärken der Magnete werden auf 50000–150000 Gauss geschätzt. Es sind also ungeheure Kräfte, die auf die Bauteile der Magneten einwirken.

Als Beispiel möge ein Entwurfskonzept für einen vollständigen Fusionsleistungsreaktor nach dem TOKAMAK-Prinzip dienen. Die Plasmatemperaturen werden auf etwa 140 Millionen Grad geschätzt. Das Plasma ist umgeben von einer Lithiumhülle mit einer Temperatur von 1000 °C. Diese Hülle absorbiert etwa 99% der Fusionsenergie, die vom Plasma freigesetzt wird. (Bild 12)

Die Energie der Deuterium + Tritium-Reaktion verteilt sich auf Neutronen mit 14,3 MeV und Alphateilchen mit etwa 3,7 MeV (Mega-Elektronenvolt = 1 Million Elektronenvolt). Die Bremsenergie der Neutronen wandelt sich in der Lithiumhülle in Wärme um, während die Energie der Alphateilchen von einer Wand absorbiert wird, die das Lithium vom Plasma trennt.

Diese Wand erleidet außerdem starke Strahlenschäden durch die sie durchdringenden Neutronen. Sie ist deshalb die kritische Stelle in diesem Reaktortyp. Als Baumaterial kann Edelstahl dienen. Er wird aber oberhalb von 500 °C verhältnismäßig rasch im Strahlungsfeld zerstört. Brauchbarer scheint jedoch Niob zu sein, das sich bis zu Temperaturen von 1000 °C als verträglich mit Lithium erwiesen hat.

Schwierigkeiten bereitet die Herstellung des Magnetfeldes durch

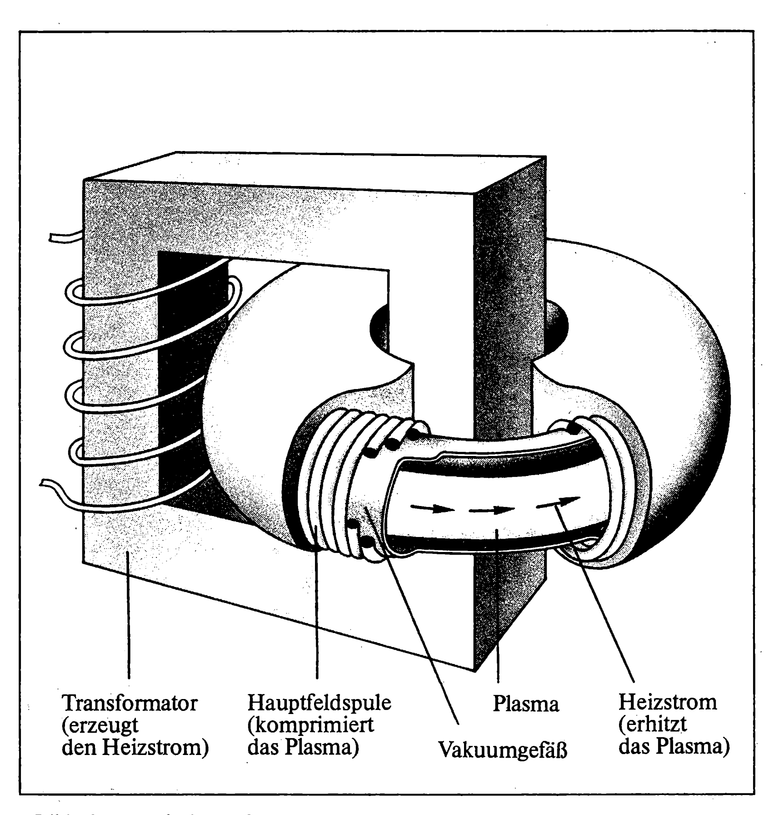



Bild 12 Kernfusion. TOKAMAK-Maschine

die supraleitenden Spulen. Obwohl die Lithiumhülle ja mehr als 99% der Neutronenenergie absorbiert, würden die restlichen Neutronen, die durch die Lithiumhülle dringen, das flüssige Helium immer noch viel zu hoch aufheizen. Um ein Kilowatt Wärme bei Heliumtemperaturen zu entfernen, wäre eine Kältemaschine mit einer Leistung von 500 kW erforderlich.

Deshalb muß der verbleibende Neutronenfluß noch weiter abgeschwächt werden. Dies geschieht, indem zwischen Magnet und Lithiumhülle noch eine mindestens ein Meter dicke, neutronenabsor-

bierende Schicht gelegt wird. Sie kann aus Graphit, Aluminium oder einem ähnlichen Material bestehen. Erst dann schließen sich die gewaltigen Spulen der Magnete an. Allein der notwendige Durchmesser der Plasmaregion eines Fusionsreaktors von etwa 1000 MW wird auf etwa fünf Meter geschätzt. Rechnet man Lithiumhülle und Magnetabschirmung hinzu, so ergibt sich eine ungefähre Vorstellung von der riesigen Dimension einer solchen Anlage.

Enorme Abmessungen müssen auch die Magnetspulen besitzen, deren Bohrung etwa zehn Meter groß sein müssen. Die Energie, die im Magnetfeld gespeichert ist, wird etwa 35000 Megajoule erreichen. Die auf die Magneten wirkenden Kräfte gehen in die Zehntausende von Tonnen pro Spule. Alle diese Zahlen gehen in Dimensionen, die schon einem normalen Naturwissenschaftler unvorstellbar groß erscheinen müssen.

Zur Zeit scheint es so weit zu sein, daß man mit dem TOKAMAK-Prinzip zu einer anderen Größenordnung übergeht. Entsprechende Bauprojekte laufen in den USA, Japan und der Sowjetunion, deren Typ zur Zeit der größte ist.

Eine ähnliche Aktion läuft in Europa unter der Bezeichnung »JET« (*J*oint *E*uropean *T*orus). Die europäischen Staaten verhandeln zur Zeit über dieses Projekt und scheitern, wie das sooft in Europa geschieht, zur Zeit am Standort. Es versteht sich, daß eine solche Standortentscheidung für denjenigen, zu dessen Gunsten sie fällt, eine große finanzielle und wirtschaftliche Bedeutung hat. Andererseits sollte man sich darauf einigen, daß dieses Gerät in Europa dort gebaut wird, wo es die besten wissenschaftlichen Voraussetzungen hat.

Wenn sich Europa zu einem solchen, in der Größenordnung von vielen hundert Millionen DM liegenden Objekt nicht aufraffen kann, so wäre sicher auch vernünftig zu überlegen, ob man auf diesem Gebiet mit der amerikanischen Apparatur enger zusammenarbeiten könnte. Die Amerikaner haben zum Ausdruck gebracht, daß sie einer solchen Zusammenarbeit keinen Widerstand entgegensetzen würden.

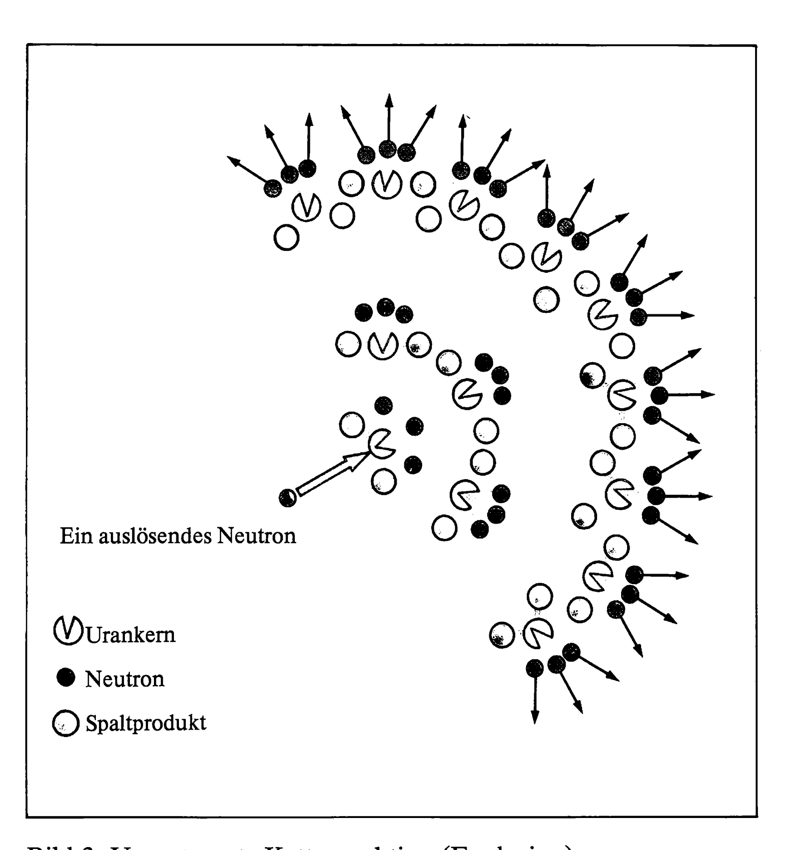



Bild 3 Ungesteuerte Kettenreaktion (Explosion)
*(s. Text S. 83)*

Bild 4 Gesteuerte Kettenreaktion *(s. Text S. 83)*



Bild 5 Konversion (Entstehung von Plutonium) *(s. Text S. 84)*

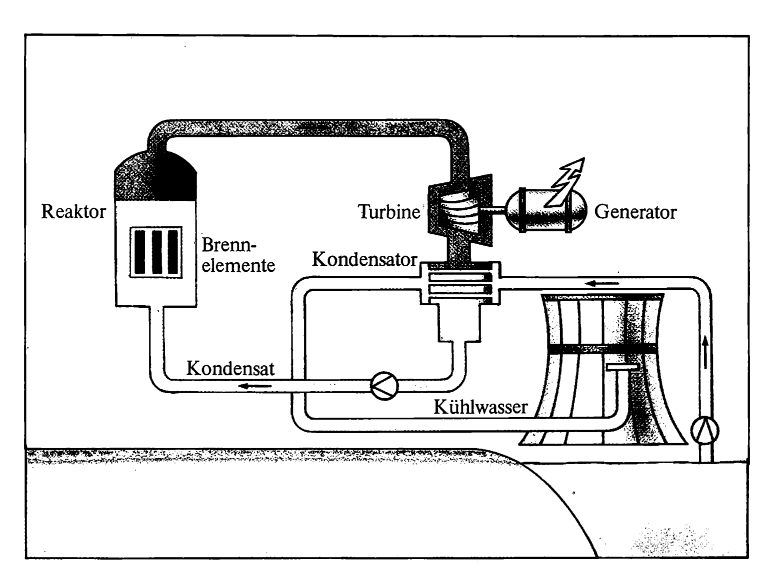



Bild 7 Siedewasserreaktor
*(s. Text S. 110)*

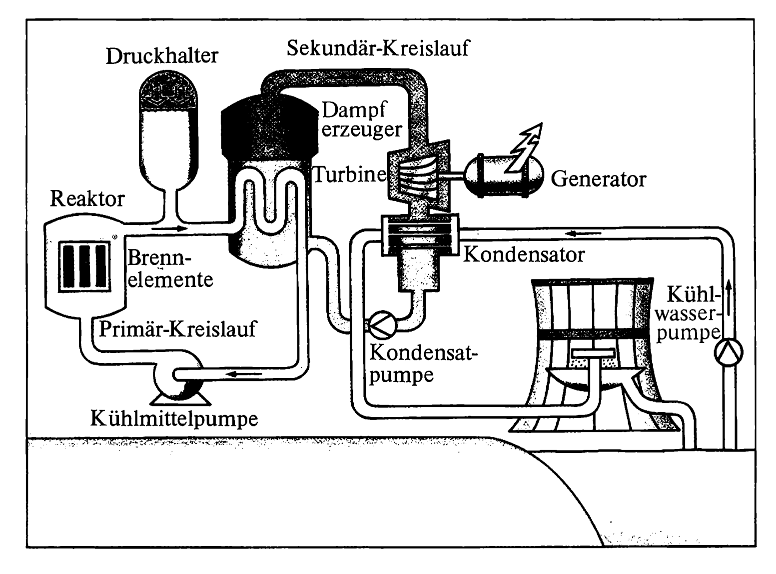



Bild 8 Druckwasserreaktor
*(s. Text S. 110)*

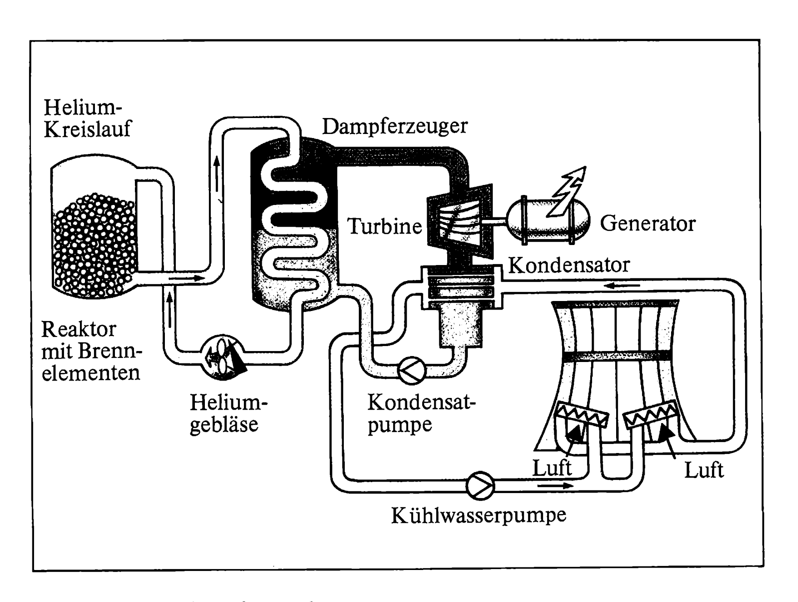



Bild 10 Kugelhaufenreaktor
*(s. Text S. 126)*

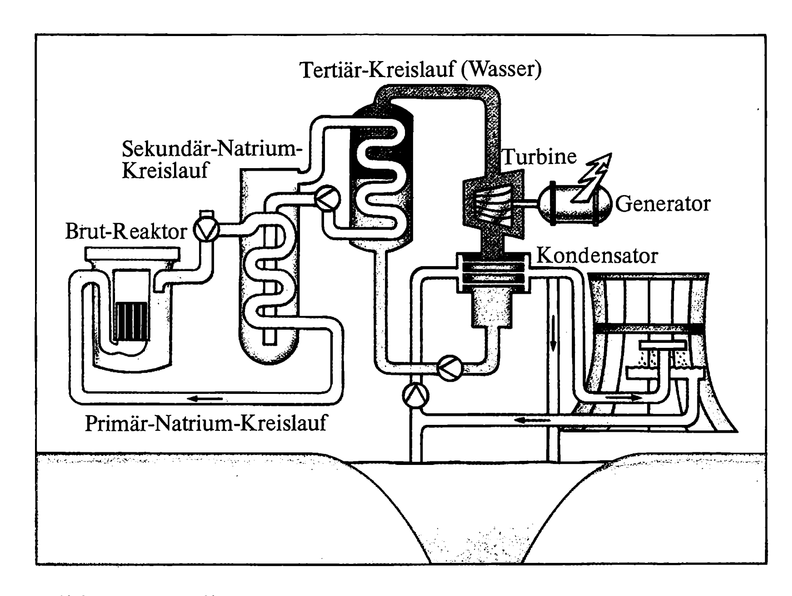



Bild 11 Schneller Brüter
*(s. Text S. 140)*

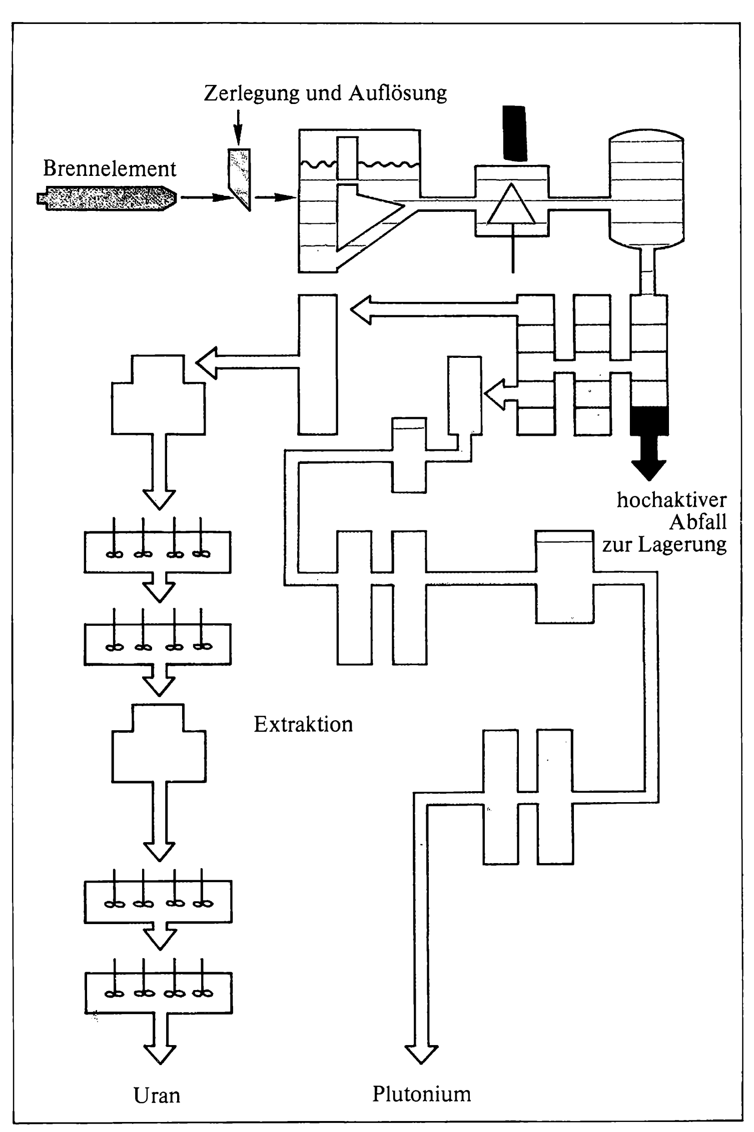



Bild 13 Schema der Wiederaufarbeitung *(s. Text S. 173)*

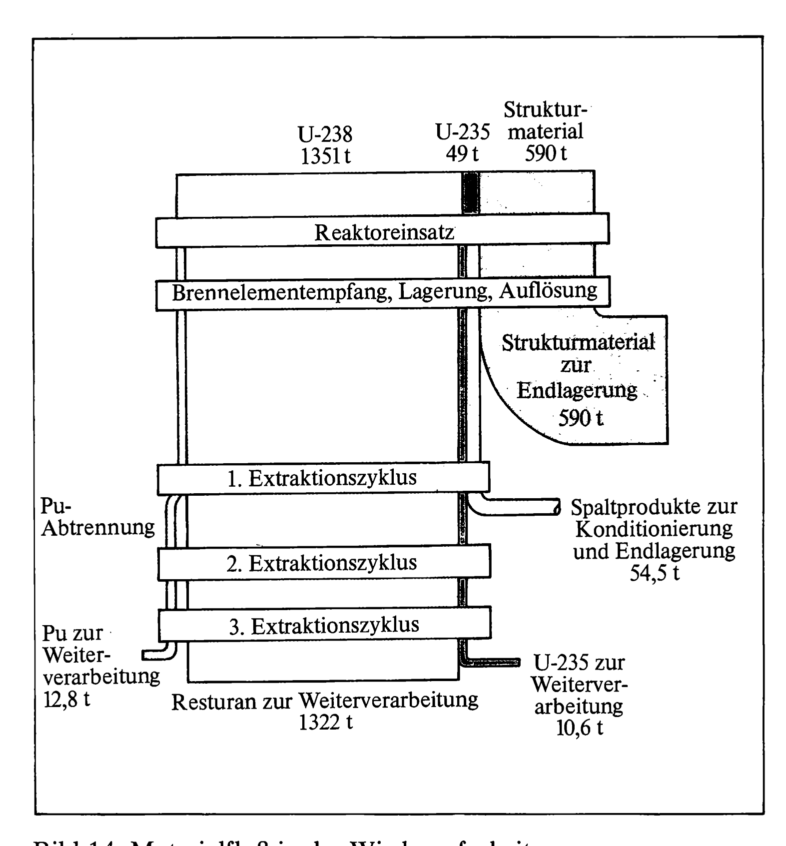



Bild 14 Materialfluß in der Wiederaufarbeitung
*(s. Text S. 173)*

Auch bei diesem Schritt muß man sich darüber klar sein, daß man noch weit davon entfernt ist, über einen stromerzeugenden Reaktor zu verfügen. Es handelt sich um einen Modellversuch. Schon jetzt ist auch ersichtlich, daß die zu erwartenden Reaktoren eines Tages sehr große Kapazitäten von 3000–5000 MW haben müssen.

Auch in einem Fusionsreaktor gibt es ein Problem der Sicherheit. Der uneingeschränkte Vorteil in bezug auf Sicherheit liegt darin, daß sich bei Kernverschmelzung keine radioaktiven Spaltprodukte bilden. Helium ist in diesem Sinn vollständig inaktiv. Auch kann es in dem Fusionsreaktor keine unkontrollierten Exkursionen, also Leistungssteigerungen, geben. Jede nicht kontrollierte Druck- und Temperaturerhöhung führt zur Zerstörung oder Abschwächung des Plasmazustandes und bringt die Reaktion zum Erliegen. Ebenso kann das Problem der Nachwärme, das bei den Spaltungsreaktoren so erschwerend ist, hier wegen der geringen Radioaktivität nur verschwindend klein sein.

Eine Gefahr bedeutet das innerhalb des Prozesses auftretende Tritium, das sich durch die Anwesenheit des Lithiums anreichert. Tritium ist ein Betastrahler, und seine Strahlung hat kein sehr starkes Durchdringungsvermögen, so daß die Umgebung leicht abgeschirmt werden kann. Aber Wasserstoff und seine Isotopen haben insbesondere bei den hohen Temperaturen ein sehr großes Diffusionsvermögen. Da in solchen großen Apparaturen mehrere Kilogramm Tritium vorhanden sind, muß darauf geachtet werden, daß auch nicht die geringsten Undichtigkeiten und Verluste durch Lekkagen entstehen.

Radioaktives Material fällt auch in größeren Mengen an, wenn die Metallwand und der Reflektor ausgewechselt werden. Es ist also nicht so, als ob die Kernfusion keine Gefahren mit sich brächte.

### *Laser*

Der Laser ist eine Anordnung, die Energie in einen außerordentlich starken Lichtstrahl von ganz bestimmter Farbe verwandelt. Es gibt kontinuierliche Gaslaser, ferner Impuls-, Festkörper- und

Flüssigkeitslaser sowie schließlich Halbleiterlaser, die sowohl kontinuierlich als auch im Impulsbetrieb arbeiten können. Ein Lasersystem besteht meist aus einem zylindrischen Stab oder einer zylindrischen Röhre größerer Länge, an deren Ende sich Spiegel befinden, die es ermöglichen, die gesamte im Lasermaterial aufgespeicherte Energie in ein paralleles Strahlbündel zu verwandeln, das in der Achse am Ende des Lasers austritt.

Die Intensität des Lichtes ist proportional der Menge des Lasermaterials und der im Lasermaterial aufgespeicherten Energie, die optisch oder auf eine andere Weise in das Lasermaterial eingebracht (hineingepumpt) werden kann. Das Besondere einer Laserlichtquelle ist neben ihrer sehr großen Intensität die Tatsache, daß sie nur Licht einer einzigen Farbe ausstrahlt, sie läßt sich mit optischen Hilfsmitteln sehr genau abbilden und konzentriert das Bild auf einen einzigen Punkt. Der Laser bietet also ein Hilfsmittel, in einem derartigen Abbildungspunkt ganz besonders hohe Strahlungsdichten zu erzeugen.

Kurz nach der Entwicklung des Lasers wurden im Livermore-Laboratorium und in anderen Laboratorien der USA Überlegungen darüber angestellt, was passieren müßte, wenn eine kleine Deuterium-Tritium-Probe, d.h. Fusionsreaktorbrennstoff, durch starke Laserbestrahlung »implodiert«, also sehr stark aufgeheizt und komprimiert würde. Diese Überlegungen zeigten, daß bei einer Kompression einer solchen Probe auf das Zehntausendfache ihrer Dichte und unter der Einwirkung der dadurch enorm gesteigerten Temperatur Fusionsprozesse vor sich gehen sollten.

Mit der schnellen Verbesserung der Lasertechnologie gelang es 1968 Nikolai G. Basov und seinen Mitarbeitern im Lebedev-Institut in der UdSSR, die ersten Neutronen aus einem laserbeheizten Plasma zu beobachten. Heute arbeitet man in den Laboratorien in Livermore und Los Alamos in den USA und in der UdSSR in großem Stil an der Entwicklung von Lasern, die Lichtimpulse mit Energien von etwa 10000 Joules von der Dauer einer Milliardstelsekunde erzeugen können. Mit solchen Lasern würde es möglich sein, erste Laserfusionsexperimente durchzuführen, die den Effekt

endgültig demonstrieren können. Für praktische Zwecke wären Laser erforderlich, die 300000 Joules in Pulsen von $10^{-8}$ bis $10^{-9}$ Sekunden Dauer erzeugen können. Solche Laser existieren zur Zeit noch nicht, man hofft jedoch, sie konstruieren zu können.

Auch hier gilt für die bestrahlte Probe das Lawson-Kriterium, welches fordert, daß in Zeiten von $10^{-8}$ Sekunden, die der Laserimpuls dauert, die Dichte etwa 10000fach höher ist, als die vom flüssigen Wasserstoff sein müßte.

Das zentrale Problem bei der Energiefreisetzung ist wiederum, das enorm heiße Plasma der leichten Atome lange genug zusammenzuhalten, damit die Fusionsreaktion stattfinden kann. Ähnlich wie bei der Wasserstoffbombe ist die Idee, daß die Trägheitskräfte in der komprimierten Probe genügend groß sind, um das Auseinanderfliegen der Probe so lange zu verhindern, bis die Fusionsreaktion abgelaufen ist. Wiederum liegen die Temperaturbereiche, in denen der Prozeß sich abspielt, in der Größenordnung von 100 Millionen Grad.

Eine wesentliche Voraussetzung ist, daß das Laserlicht von allen Seiten gleichmäßig auf die zu entzündende Probe einwirkt. Man könnte dies dadurch erreichen, daß gleichzeitig das Licht eines Lasers von allen Seiten mit geeigneten optischen Hilfsmitteln auf die Probe einstrahlt. Es ließ sich auch denken, daß eine Reihe von Lasern gleichzeitig gezündet wird und ihr Licht aus verschiedenen Richtungen auf die Probe schießt.

Natürlich taucht die Frage auf, ob es möglich ist, Wasserstoff auf das 10000fache der natürlichen Dichte des flüssigen Wasserstoffs zu komprimieren. Es stellt sich heraus, daß hierzu geradezu astronomische Drücke, nämlich $10^{12}$ Atmosphären, erforderlich sind. Das wären aber Drücke, wie sie sonst nur im Innern von Fixsternen vorkommen. Es ist ein Ergebnis der amerikanischen Untersuchung, daß laserinduzierte sphärische Implosionen in der Lage sein müssen, diese Werte zu erreichen oder gar zu überschreiten. Man kann sich das wie folgt vorstellen: Man nehme einen Laserpuls von 1 Million Joules (1000 Kilowattsekunden) und $10^{-8}$ Sekunden Dauer. Er falle auf ein kleines Tröpfchen thermonuklearen Brennstoffs,

d.h. eine Mischung von Deuterium und Tritium, von 1 mm Durchmesser. Das Tröpfchen wird unter der Einwirkung des Lichtes erhitzt und auf etwa 0,1 mm Durchmesser komprimiert. Die Dichte erhöht sich dabei um mehr als einen Faktor Tausend, und die Temperatur steigt auf etwa 100 Millionen Grad. Rund 10% der möglichen Fusionsreaktionen würden ablaufen und rund das Dreißigfache der eingestrahlten Laserenergie würde erzeugt, nämlich 10–30 Millionen Joules. Eine solche Fusionsexplosion selbst würde innerhalb von $10^{-11}$ Sekunden erfolgen, die Leistungsspitze innerhalb dieser Zeit $10^{18}$ Watt betragen. Dies ist eine Leistung, wie sie sonst auf der Erde nirgendwo erreicht wird.

Die so erzeugte Energie wird in Form von energiereichen Neutronen, Alphateilchen und Röntgenstrahlen frei und eine Wand oder ein Kühlmedium treffen, in dem sie in Wärme verwandelt wird. Um eine Leistung von 1000 MW, wie sie für ein Kraftwerk nötig wäre, zu erreichen, müßte dieser Vorgang ca. 100mal pro Sekunde wiederholt werden, und das über Jahre hinweg.

Man erkennt, daß hier eine gewaltige technische Aufgabe zu lösen ist, deren Ergebnis ein Kraftwerk auf der Basis der durch Laser erzeugten Fusionsexplosionen ermöglichen würde: die unentwegte Folge der gewaltigen Laserblitze, die auf regelmäßig erzeugte und in die Verschmelzungskammer injizierte Tröpfchen aus Fusionsbrennstoff einwirken; das große Kühlsystem, das die Leistung aufzunehmen hat; die Wandmaterialien, die den intensiven Bestrahlungen standzuhalten hätten. In den Vereinigten Staaten wird mit großer Energie daran gearbeitet. Bis allerdings eine derartige Maschine zu einem Kraftwerk wird, werden noch einige Jahrzehnte vergehen müssen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß diese reizvolle Methode der Energieerzeugung wohl erst im nächsten Jahrtausend verwirklicht werden wird.

# Kapitel 11
# DIE WIEDERAUFBEREITUNG

In modernen Leichtwasserreaktoren bleiben die Brennelemente etwa zwei bis drei Jahre. In dieser Zeit soll im Durchschnitt eine Energie von 860 Mio. kWh je Tonne Gesamturan erzeugt werden.

Um mit kleineren Zahlen rechnen zu können, verwenden die Physiker die Einheiten Megawatt (MW) für 1 Millionen Watt und Tag (d) anstelle von Stunden (h). Rechnet man kWh zu MWd um, dann erhält man eine Energie von 36000 MWd pro Tonne (t) Uran und spricht davon, daß die Brennelemente einen Abbrand von 36000 MWd/t besitzen (s. S. 34).

Während des Reaktorbetriebes läuft die Kernspaltung kontinuierlich in gesteuerter Form ab. Aus dem Uran 235 bildet sich dabei eine Vielzahl von Elementen mit niedrigerem Atomgewicht. Hierzu gehören Zink, Zirkon, Molybdän, Palladium, Silber, Jod, Barium, Arsen und Cer. Außerdem entstehen die Edelgase Krypton und Xenon sowie das überschwere Isotop des Wasserstoffs, das Tritium. Diese Elemente, die aus dem Uran 235 durch Kernspaltung entstehen, tragen den Sammelbegriff »Spaltprodukte«.

Daneben aber bildet sich durch Anlagerung von Neutronen an das Uran auch eine Reihe von Transuranen, d.h. von Elementen mit höherem Atomgewicht, z.B. das Plutonium.

Ein großer Teil der so entstandenen Elemente ist radioaktiv. Sie senden Alpha-, Beta- und Gammastrahlen aus. Dabei wandeln sie sich entweder direkt oder über andere, ebenfalls radioaktive Elemente schließlich in stabile Isotope um. Auch das Material der

Hüllrohre und sonstigen Bauteile, die das Brennelementbündel zusammenhalten, das sogenannte »Strukturmaterial«, wird durch den Beschuß mit Neutronen im Reaktor radioaktiv.

### *Der verbrauchte Brennstoff und seine Entsorgung*

In gleichem Maß, in dem während des Reaktorbetriebs Spaltprodukte entstehen, verarmt der Kernbrennstoff an spaltbarem Material. Die Spaltprodukte fangen außerdem Neutronen ein und hemmen so die Kettenreaktion. Die Ausnutzung der gebildeten Neutronen für weitere Spaltungen verschlechtert sich also zunehmend. Die Brennelemente sind auf diese Weise verbraucht, lange bevor das gesamte Uran 235 gespalten ist. Sie müssen deshalb aus dem Reaktor herausgenommen und durch neue ersetzt werden. Dies geschieht mit einem wichtigen Hilfsgerät des Reaktorbetriebs, nämlich der Lademaschine.

Die entladenen Brennelemente kommen dann in die »Wiederaufarbeitung und Abfallkonditionierung«.

Hier werden zwei Ziele gleichzeitig verfolgt: Einmal sollen die noch wertvollen Spaltstoffe wie Uran 235 und neuentstandenes Plutonium sowie auch Uran 238 zur Wiederverwendung gewonnen werden. Außerdem sollen die Spaltprodukte und alle radioaktiven Abfallmaterialien so weiter verarbeitet werden, daß sie schließlich in einem Endlager, abgeschlossen von der Biosphäre, für die Umwelt ungefährlich aufbewahrt werden können, bis ihre Radioaktivität abgeklungen ist.

Verfolgt man den gesamten Weg des verbrauchten Brennstoffs nach der »Entladung« des Reaktors, so ergeben sich folgende Schritte:

1. Transport der Brennelemente zur Wiederaufarbeitungsanlage
2. Wiederaufarbeitung
3. Abfallkonditionierung
4. Endlagerung der radioaktiven Abfälle
5. Fabrikation plutonium-/uranhaltiger Brennelemente.

Alle diese Maßnahmen zusammengenommen, werden heute unter dem Begriff »Entsorgung der Kernkraftwerke« zusammengefaßt. Die deutsche Bundesregierung will die notwendigen Anlagen an einem Standort, dem sogenannten Entsorgungszentrum, vereinigen, um die Transportwege der verschiedenen Materialien zu verkürzen, das gesamte Verfahren unter besserer Kontrolle zu halten und damit die Risiken auf ein Minimum zu beschränken.

### *Beginn unter militärischen Aspekten*

Die Wiederaufarbeitung verfolgt also einen doppelten Zweck, nämlich die noch vorhandenen oder neu entstandenen Brennstoffe Uran und Plutonium wieder in Reaktoren zu verwenden und die Spaltprodukte abzutrennen und in ein Endlager zu bringen.

In der Zeit der Vorbereitung der Atombomben ging es fast ausschließlich darum, das Plutonium wiederzugewinnen. Die militärische Anwendung von Plutonium machte ein gut funktionierendes Wiederaufarbeitungsverfahren notwendig. Auf die Spaltprodukte und andere radioaktive Rückstände brauchte dabei zunächst wenig Rücksicht genommen werden. Es entstanden Anlagen mit Kapazitäten von mehr als 1000 Jahrestonnen ausgebrannten Kernbrennstoffs. Die Spaltprodukte wurden als Lösungen in Tanks aufbewahrt. Und so lagern sie zum Teil heute noch.

In der Bundesrepublik Deutschland wußte man bis 1955 natürlich über die Einzelheiten dieser Wiederaufarbeitung und die Gewinnung des Plutoniums nur sehr wenig.

### *Anstöße in der Bundesrepublik*

Die Deutsche Atomkommission beschäftigte sich jedoch schon in ihren ersten Sitzungen 1956 mit der Wiederaufarbeitung. Sie erkannte frühzeitig deren technische und wirtschaftliche Bedeutung. Aber die breite Öffentlichkeit schenkte damals diesem Problem wenig Beachtung. Bis zum Anfall der ersten abgebrannten Brennelemente würde ja – so war die Meinung – noch viel Zeit vergehen.

Das wirtschaftliche Interesse konzentrierte sich zunächst auf die Technologie des Plutoniums, das mit Uran 235 als Kernbrennstoff verwendet werden kann. Die Chancen, Plutonium für erste Versuche von den Atommächten zu erhalten, erschienen als sehr gering. So mußte versucht werden, Plutonium aus abgebrannten Brennelementen zu isolieren, um seine Handhabung zu erlernen.

Aber nicht nur das Plutonium war interessant; denn Wiederaufarbeitung bedeutete chemische Technik besonderer Art. Sie mußte im Rahmen der friedlichen Nutzung der Kernenergie ganz anders betrachtet werden als in der Zeit des Krieges. Zwar waren die verfahrenstechnischen Abläufe des Prozesses dem Chemiker nicht fremd. Zum einen war es notwendig, mit stark strahlenden Substanzen hinter dicken Betonwänden unter Fernbedienung in Zellen zu arbeiten, die für Menschen nicht zugänglich sind. Darüber hinaus waren noch radioaktive Abfälle zu lagern und betriebssicher zu verarbeiten.

Es galt, lange Betriebserfahrungen zu sammeln, ehe schließlich ein technisch ausgereiftes Verfahren zur Verfügung stehen würde. Daher drängten die Chemiker im Rahmen der Arbeitskreise der Atomkommission sehr früh darauf, dieses Problem in Angriff zu nehmen.

### *Gemeinsame europäische Aktivität*

Eine erste nützliche Initiative in dieser Richtung entfaltete die OEEC. Im Jahre 1957 beschlossen die europäischen OEEC-Länder die Einrichtung der Eurochemic. Dabei handelt es sich um eine Gemeinschaftsanlage in Mol in Belgien, die dann mit einer Investition in Höhe von 150 Mio. DM errichtet wurde. Die Betriebskosten waren sehr aufwendig. Der Bau und später lange Zeit auch die Leitung der Anlage in Mol lagen in Händen von Erich Pohland, Ministerialrat im Atomministerium.

Die Anlage in Mol war so angelegt, daß Brennelemente aus unterschiedlichen Reaktortypen aufgearbeitet werden konnten. Da

keine Aussicht bestand, eine solche Mehrzweckanlage mit ihrer für Versuchszwecke relativ gering ausgelegten Kapazität von rund 100 Tonnen im Jahr jemals wirtschaftlich zu betreiben, wurde sie im Jahre 1974 stillgelegt. In den letzten Jahren ihres Betriebs hat sie jedoch wertvolle Erfahrungen auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung geliefert.

### *Der Weg zur deutschen Versuchsanlage*

Die Bemühungen, bei uns in der Bundesrepublik zu einer eigenen Versuchsanlage zu kommen, illustriert ein Auszug aus einem Bericht, den Leopold Küchler, Leiter der Abteilung Chemische Verfahrenstechnik der Farbwerke Hoechst AG und Professor für physikalische Chemie an der Universität Frankfurt, am 6. Mai 1960 im Arbeitskreis III/2 »Brennstoffe und Baustoffe für Kernreaktoren« der Deutschen Atomkommission erstattete.

Küchler sagte: »Die Farbwerke Hoechst haben ein Vorprojekt für eine solche Versuchsanlage vorbereitet. Sie haben sich bereit erklärt, die Anlage zu bauen und zu betreiben, unter der Voraussetzung, daß eine Form der Finanzierung gefunden wird, die einerseits mit dem privatwirtschaftlichen Charakter des Vorhabens zu vereinbaren ist und andererseits die Gewähr bietet, daß den Farbwerken Hoechst keine Verluste durch dieses Vorhaben entstehen. Die Verhandlungen mit dem Atomministerium über diese Frage sind im Gange.«

Leopold Küchler hatte in Hoechst anhand des wenigen, was wir wußten, die Grundlagen des Verfahrens ermittelt. Zur Vorbereitung hatte er schon 1956/57 einen Mitarbeiter zur Ausbildung nach den USA geschickt.

Im Jahr 1962 unterbreitete die mit Hoechst eng verbundene Firma Uhde im Namen der neugegründeten Ingenieur-Gemeinschaft Kernverfahrenstechnik (IGK), die aus den Firmen Leybold, Lurgi und Uhde bestand, dem Bundesministerium für Atomkernenergie ein Angebot. Es betraf die Ausarbeitung eines Vorprojektes für eine solche Wiederaufbereitungsanlage in der Bundesrepublik

Deutschland. Für die Planung stand das Know-how der Farbwerke Hoechst AG zur Verfügung.

Im Jahr 1963 wurde der IGK der Planungsauftrag für eine erste betriebsmäßige Wiederaufarbeitungsanlage erteilt. Die Anlage sollte eine Kapazität von 40 Jahrestonnen haben.

Es war klar, daß eine solche kleine Wiederaufarbeitungsanlage noch nicht wirtschaftlich sein konnte. Sie schien jedoch groß genug, um den Verfahrensablauf unter realistischen Bedingungen erproben und fortentwickeln zu können. Überdies würde sie erste grobe Schätzungen über die Betriebskosten erlauben.

Die Elektrizitätswirtschaft und die übrige Industrie interessierten sich für ein solches Projekt lange Zeit nicht besonders stark. Sie glaubten, noch viel Zeit zu haben, erwarteten Wiederaufarbeitungsangebote aus dem Ausland und rechneten aus, daß der hiermit verbundene Aufwand auf die schließlich entstehenden Stromkosten kaum Einfluß haben würde.

Die Amerikaner ihrerseits waren über die deutschen Aktivitäten wenig erfreut. Sie hegten wohl noch immer den Verdacht, daß die Bundesrepublik Deutschland mit dem Plutonium vielleicht doch militärische Pläne verfolgen könnte. So wurden von den USA Vorschläge unterbreitet, die ausgebrannten Brennelemente zu übernehmen. Auf diese Weise hoffte man, die deutschen Bemühungen um den Bau einer eigenen Anlage unterbinden zu können. Unter solchen Umständen verhielten sich die zuständigen Ministerien in Bonn, vor allem das Bundesfinanzministerium, recht abwartend gegenüber den Plänen der Chemie. Kostbare Zeit verging.

### *Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe*

Im Jahre 1964 bewilligte die Bundesregierung dann doch die Mittel zum Bau einer solchen Prototyp-Wiederaufarbeitungsanlage. Sie wurde Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) getauft. Kurz darauf wurde die Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (GWK) gegründet, an der sich die Farbwerke Hoechst AG, die Nukem GmbH in Wolfgang bei Hanau, die

Farbenfabriken Bayer in Leverkusen und die Gelsenkirchener Bergwerks Aktiengesellschaft zu je einem Viertel beteiligten.

Zweck der im Dezember 1964 gegründeten Gesellschaft war es, bei Planung und Errichtung der WAK mitzuwirken und die Anlage nach ihrer Errichtung zu betreiben. Die Interessengemeinschaft IGK wurde mit den Planungs- und Errichtungsarbeiten betraut. Die Bundesregierung übernahm die gesamten Kosten, soweit sie in Karlsruhe anfielen.

Daß man sich zwischen Hoechst, Bayer, Nukem und Gelsenberg zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit entschlossen hatte, brachte einen wesentlichen Vorteil: Die aus dem Bereich der Chemie wie auch jene aus dem der Energieerzeugung an der Entwicklung der Wiederaufarbeitung interessierten Unternehmen waren hier vertreten; sie konnten ihre Kenntnisse und Erfahrungen in das gemeinsame Projekt einbringen. An eine wirtschaftliche industrielle Nutzung war damals noch nicht gedacht.

Unter den bekannten Wiederaufarbeitungsverfahren das geeignete für die WAK auszuwählen, war nicht einfach. Das in den großen militärischen Anlagen verwendete Verfahren war inzwischen im Prinzip bekannt. Zu dem jetzt gewählten Verfahren hatte Leopold Küchler geraten und schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt seinen Standpunkt vertreten: »Es ist das Lösungsmittel-Extraktionsverfahren, das heute ausschließlich zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen verwendet wird, alle anderen Verfahren wurden entweder wieder aufgegeben, z.B. auch die Plutoniumgewinnung im Wismut-Phosphat-Prozeß, oder sie befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Nach dem jetzigen Stand dürfte von allen diesen Verfahren höchstens die Fluordestillation eine breitere technische Verwendung finden, und zwar für die Wiederaufarbeitung von hochangereichertem Uran.«

Amerikanische Firmen aber empfahlen Anfang der 60er Jahre gerade diese Fluordestillation für alle Formen der Wiederaufarbeitung, um die Verwendung wäßriger und organischer Lösungen zu vermeiden, die radioaktiven Abfälle in fester Form zurückzubehalten und so ihr Volumen zu begrenzen.

Wir hingegen blieben beim Lösungsmittel-Extraktionsverfahren (Purexverfahren). Unsere Entscheidung wurde später durch den Fehlschlag der amerikanischen Wiederaufarbeitungsanlage der General Electric bestätigt, in der die Fluorisierung in einem Teilschritt vorgesehen war, 1974 aber wieder aufgegeben werden mußte.

Die Wissenschaftler im gesamten Kernforschungszentrum Karlsruhe waren von der Ansiedlung einer Wiederaufarbeitungsanlage nicht begeistert. Andererseits aber benötigte dieses Projekt ihre Mitwirkung. So »verbannte« man die Versuchsanlage schließlich an einen Standort außerhalb des eigentlichen Kernforschungszentrums, allerdings in unmittelbarer Nähe. Man hatte geltend gemacht, daß wegen möglicher radioaktiver Emissionen dieser Versuchsanlage die Exaktheit der Meßergebnisse im übrigen Zentrum leiden könnte.

So waren mit dem Komplex Wiederaufarbeitung von Anfang an viele Widerstände verbunden. Zeitliche Verzögerungen mußten hingenommen werden. Die Wiederaufarbeitung – das ist nicht zu hart formuliert – blieb lange Zeit das Stiefkind der deutschen Kernenergiepolitik. Erst in letzter Zeit hat sich die Erkenntnis allgemein durchgesetzt, wie brennend und wichtig dieses Gebiet ist.

### *Der Wiederaufarbeitungsprozeß*

Wenn man einen Kernreaktor abschaltet, wird die Kettenreaktion und damit die Spaltung der Atomkerne unterbrochen. Der Zerfall der radioaktiv gewordenen Elemente, das heißt ihre Umwandlung zu anderen Elementen, schreitet jedoch weiter fort. Als Endprodukt aller begonnenen Zerfallsreihen entsteht immer ein stabiles, nicht mehr radioaktives Element.

Die Radioaktivität (s. S. 189) unmittelbar nach Abschalten des Reaktors ist außerordentlich hoch. Die Einheit für die Radioaktivität ist das »Curie«. Es ist ein Maß für die pro Sekunde stattfindenden Kernzerfallsvorgänge.

Die radioaktive Umwandlung der Elemente kann mehr oder weniger schnell ablaufen. Ein Maß für die Geschwindigkeit des Zer-

falls ist die sogenannte »Halbwertszeit«; sie gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte der ursprünglich zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Menge eines radioaktiven Elementes zerfallen ist und somit nur noch die Hälfte der ursprünglichen Aktivität ausgestrahlt wird.

Man kann leicht errechnen, daß nach zehn Halbwertszeiten, also nach zehn Jahren, die Aktivität eines radioaktiven Elementes auf etwa ein Tausendstel der Ursprungsaktivität abgeklungen ist. Es existiert somit noch ein Tausendstel des einstmals vorhandenen radioaktiven Elementes.

Die meisten im Reaktor entstandenen radioaktiven Isotope fallen nur in geringen Mengen an. Sie haben kleine Halbwertszeiten. Ihre Radioaktivität ist also innerhalb kurzer Zeit erloschen oder auf Werte abgeklungen, die im Bereich der natürlichen Radioaktivität liegen (s. S. 192). Sie haben auf den weiteren Verfahrensablauf keinen Einfluß.

Die Spaltprodukte mit längeren Halbwertszeiten hingegen erfordern aufgrund ihrer Aktivität eine starke Abschirmung bei Wiederaufarbeitung und Abfallkonditionierung. Um die konditionierten, langlebige Spaltprodukte enthaltenden Abfälle endgültig zu lagern, müssen besondere Verfahren angewandt werden. Jeder Kontakt mit der Biosphäre muß ausgeschlossen werden.

Zu den Elementen mit langen Halbwertszeiten, die heute vielfach Sorgen verursachen, gehören das Tritium mit einer Halbwertszeit von etwa 12 Jahren, das Krypton 85 mit einer solchen von rund 11 Jahren, das Strontium 90 mit ca. 28 Jahren, das Jod 129 mit 17 Millionen Jahren, das Cäsium 137 mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren sowie schließlich das Plutonium mit seinen verschiedenen Isotopen, von denen das bekannteste, das Plutonium 239, eine Halbwertszeit von 24000 Jahren hat.

Um die Verarbeitung der aus dem Reaktorkern entladenen Brennelemente zu erleichtern, läßt man zunächst die Spaltprodukte mit geringer Halbwertszeit zerfallen. Dazu werden die Brennelemente in ein im Reaktorgebäude gelegenes Becken gebracht, wo sie mindestens ein halbes Jahr lang lagern. Radioaktiver Zerfall ist mit

Wärmeentwicklung verbunden. Daher werden die Brennelemente durch Wasser gekühlt.

Es schließt sich der Transport zu einem mit der Wiederaufarbeitungsanlage verbundenen oder in ihrer unmittelbaren Nähe gelegenen zentralen Lagerbecken an, wo die Brennelemente noch einmal mindestens ein halbes Jahr unter Kühlung gelagert werden, um die Aktivität und Wärmeentwicklung weiter zu reduzieren. Der Transport erfolgt in gekühlten Behältern, die gegen denkbare Unfälle wie Stoß, Sturz oder Brände nach verbindlichen Richtlinien sicher ausgelegt sind. Das Gewicht der Transportgeräte beträgt etwa das 30fache von dem der Brennelemente.

Das Kühlwasser im Lagerbecken, das kontinuierlich umgepumpt und gereinigt wird, überdeckt die Brennelemente mehrere Meter hoch. Es absorbiert alle von den Brennelementen ausgehende Strahlung. Deswegen kann sich die Bedienungsmannschaft ohne besondere Schutzmaßnahmen am Wasserbecken bewegen und notwendige Arbeiten vornehmen. Die Wasserbecken und die sie umgebenden Gebäude sind so ausgelegt, daß im Falle von Erdbeben, Flugzeugabsturz oder Sprengwirkungen von außen gewährleistet wird, daß die Becken dicht und ebenso Lüftung und Kühlung bewahrt bleiben.

### *Hinter Blei und Beton*

Alle jetzt folgenden Arbeitsschritte werden in geschlossenen Zellen vorgenommen. In einige dieser Zellen kann man von außen durch Bleiglasfenster hineinschauen. Mit Ferngreifern lassen sich in ihnen Maschinen und Werkzeuge bedienen. Andere Zellen dagegen besitzen keinerlei Sichtmöglichkeiten. Die Prozesse laufen hier in automatisch gesteuerten Apparaturen ab. Die Wände der Zellen bestehen aus dickem Stahlbeton. Sie halten die Strahlung ab und erlauben es dem Bedienungspersonal, sich in den Bedienungsräumen außerhalb der Zellen aufzuhalten.

Kommt es zu einer Betriebsstörung in einer der Zellen, so muß der Pegel der Radioaktivität durch Säubern soweit gesenkt werden,

daß die Zellen – um die Störung zu beheben – entweder kurzfristig zu betreten sind oder die Störung durch andere Eingriffe von außen zu beheben ist. Selbstverständlich wird die Radioaktivität ständig überwacht.

Der Aufarbeitungsprozeß, der hier in Anlehnung an das Konzept für die große Wiederaufarbeitungsanlage in der Bundesrepublik mit einem Durchsatz von 1400 t Uran/Jahr beschrieben wird, beginnt mit der Zerlegung der Brennelemente. Mit Hilfe einer großen Schere werden die Kopf- und Fußstücke getrennt und die Brennelementstäbe in kleine, wenige Zentimeter lange Abschnitte zerlegt. Diese läßt man in einen großen, mit siedender Salpetersäure gefüllten Kessel fallen, in dem der Brennstoff aus den Hüllrohren herausgelöst wird. Das Hüll- und Strukturmaterial bleibt zurück; es ist vom restlichen Brennstoff abgetrennt. Nachdem es auf geeignete Weise gespült und von Fremdbestandteilen befreit ist, wird es zunächst in Silos unter Wasser gelagert. Das bei der Auflösung frei werdende Krypton wird zusammen mit dem Abgas ausgetrieben, aus diesem durch Tieftemperaturrektifikation entfernt und in Druckflaschen abgefüllt. Das in dem Abgas vorhandene Jod wird an Feststoffiltern adsorbiert.

In der wäßrigen Salpetersäure sind Uran, Plutonium sowie die Spaltprodukte und die Transurane gelöst. Man mischt diese wäßrige Phase mit einem organischen, in Wasser nicht löslichen Extraktionsmittel, das aus Tributylphosphat und Kerosin (Benzinfraktion) besteht.

Das Mischen wird in einer vielstufigen Extraktionsapparatur mehrfach wiederholt, indem man die organische Phase der wäßrigen Lösung entgegenströmen läßt. Dabei lösen sich Uran und Plutonium in Form von Nitraten in der organischen Phase. Die Spaltprodukte bleiben in der wäßrigen Lösung.

Um Plutonium von Uran zu trennen, wird Plutonium in einem zweiten mehrstufigen Extraktor chemisch reduziert und so umgewandelt, daß es aus der organischen Phase in die wäßrige Phase übergeht und dadurch vom Uran getrennt wird. Schließlich wird in einem weiteren Extraktor das Uran aus der organischen Phase her-

ausgeholt. Am Ende dieses ersten Zyklus hat man Uran und Plutonium als Nitrat getrennt voneinander in salpetersaurer Lösung (Bild 13 Farbbildteil S. VII).

Bild 13 gibt diese Technik in stark vereinfachter Form wieder. In der Praxis muß man die Reinigung wiederholen und Uran und Plutonium jeweils in einem zweiten und dritten Zyklus durch erneute Extraktion in die organische Phase und Rückextraktion in die wäßrige Phase vollständig von den Spaltprodukten befreien.

Als Endprodukte der Wiederaufarbeitung fallen zunächst einmal die wertvollen Kernbrennstoffe Uran und Plutonium an. Sie können aufs neue zu Brennelementen verarbeitet werden.

Die im ersten Extraktor des Zyklus abgetrennte wäßrige Lösung enthält etwa 99 Prozent der aktiven Spaltprodukte. Es handelt sich um den sogenannten hochaktiven Abfall. Man spricht von hochaktivem Abfall dann, wenn die Aktivität größer als 10 Curie pro Liter Lösung ist.

Diese Abfallösung enthält auch etwa ein Prozent des Plutoniums, das während des Extraktionsprozesses nicht wiedergewonnen werden kann, und Transuranelemente, also eine Reihe von Elementen mit großen Halbwertszeiten. Die hochaktive Abfallösung wird zunächst in Tanks zwischengelagert. Die weitere Verarbeitung sieht das Vermischen mit geeigneten Glasbildnern und das Vergießen zu Glasblöcken vor. Die Glasblöcke werden in das Endlager transportiert, wo sie in Bohrungen in einem Salzstock endgültig zu lagern sind.

Zu den hochaktiven, allerdings festen Abfällen zählen auch die bei der Brennelementzerlegung und Auflösung anfallenden Strukturmaterialien wie Kopf- und Fußstücke und die leeren Hülsenabschnitte. Nach einer Zwischenlagerung in Silos werden sie – in Fässer einbetoniert – dem Endlager im Salzstock zugeführt.

Einen Überblick über den Fluß der wichtigsten Materialien vom Einsatz im Reaktor bis zum Anfall nach der Wiederaufarbeitung gibt Bild 14 Farbbildteil S. VIII. Die Bilanz geht davon aus, daß 1400 Tonnen auf 3,5 Prozent U 235 angereichertes Uran (1351 Tonnen Uran 238 und 49 Tonnen Uran 235) sowie das dazuge-

hörige Strukturmaterial (590 Tonnen) jährlich die entsprechende Anzahl Reaktoren durchläuft und zur Wiederaufarbeitung in die beschriebene Anlage gelangt. Mit dieser Menge Brennstoff könnten etwa 40 Reaktoren von der Größe des Kernkraftwerks Biblis (s. S. 109) bedient werden.

Man erkennt die Zusammensetzung der Brennelemente vor und nach ihrer Verwendung im Reaktor sowie die verschiedenen Produktströme nach den einzelnen Verarbeitungsstufen. Nach dem Reaktoreinsatz hat sich vor allem der Anteil des Uran 235 verringert. Dafür sind Spaltprodukte entstanden. Aber auch die Menge an Uran 238 hat, wenn auch geringfügig und daher im Bild nicht ersichtlich, abgenommen. Dafür sind Plutonium und Transurane gebildet worden. Ein Teil der Spaltprodukte stammt von dem Plutonium, das schon im Reaktor wieder gespalten wurde.

Die Spaltprodukte und Transurane, die zusammen etwa 3,9 Prozent der Menge des Brennstoffs darstellen, sind zusammen mit dem Strukturmaterial das eigentliche Abfallprodukt – der Atommüll –, der aus dem Reaktor anfällt. Uran und Plutonium machen 96,1 Prozent des ursprünglich verwendeten Brennstoffs aus. Sie können anschließend wiederum in Kernreaktoren verwendet werden.

Man erkennt schon aus dieser Mengenbilanz die Bedeutung der Wiederaufarbeitung, die nicht nur den sogenannten Atommüll abtrennt, sondern den größten Teil des Brennstoffs wieder nutzbar macht. Auf diese Anlagen und auf die Aufbewahrung der ausgebrannten Brennelemente über Jahrzehnte zu verzichten, wie vielfach vorgeschlagen wird, kann sich nur ein Staat leisten, der auf Rohstoffbilanz und Wirtschaftlichkeit nicht zu achten braucht.

### *180 Tage im Lagerbecken*

Bild 15 zeigt, welche Radioaktivität in Curie (Ci) die verschiedenen Komponenten des Brennstoffs unmittelbar nach dem Reaktoreinsatz aufweisen und wie diese Aktivität als Funktion der Zeit abklingt.

Während der frische Brennstoff vor dem Reaktoreinsatz nur 600

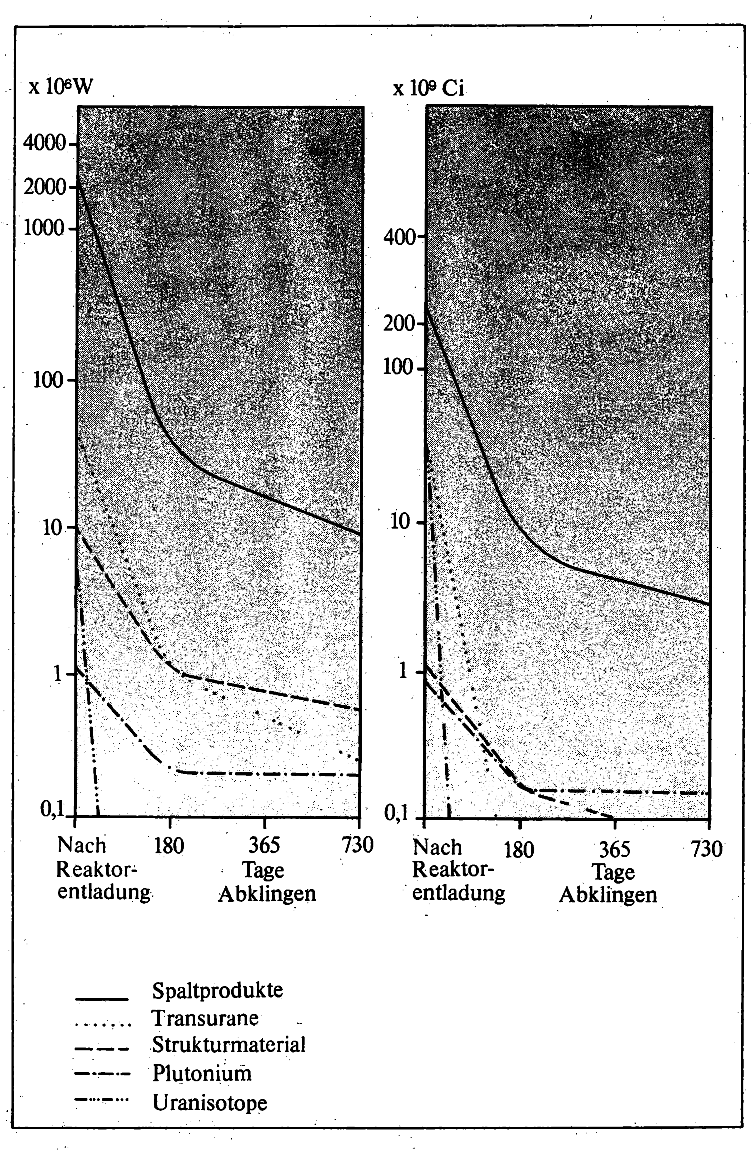



Bild 15 Abklingen von Radioaktivität und Wärme

Ci besitzt, macht allein die Aktivität der Spaltprodukte nach der Entladung 200 Milliarden Ci aus. Allerdings beträgt sie schon nach 180 Tagen nur noch 3 Prozent dieses Wertes. Die hohe Aktivität von Uran ist wieder auf niedrige Werte abgesunken. Man erkennt die Bedeutung der Lagerung im Lagerbecken vor allem in den ersten 180 Tagen. Aber auch eine längere Lagerung der Brennelemente vor der Wiederaufarbeitung führt zu einer weiteren Reduzierung der Aktivität. Der Verfahrensablauf wird erleichtert. Bild 15 macht auch deutlich, daß die Hauptaktivität in den Spaltprodukten vereinigt ist.

Auch die Aktivität des Plutoniums ist beträchtlich. Bei seiner Handhabung aber sind die Schwierigkeiten geringer, da es vornehmlich die wenig durchdringende Alphastrahlung aussendet. Wegen seiner Alphastrahlung und seiner chemischen Giftigkeit muß man sich vor allem vor Inkorporation schützen.

Die Radioaktivität der Spaltprodukte und der bei den Spaltprodukten verbleibenden Transurane, die erst nach Hunderten und zum Teil vielen Tausenden von Jahren abklingt, erfordert eine endgültige Lagerung, die außergewöhnliche Forderungen erfüllen muß.

Bild 15 zeigt, wie sich die Wärmeleistung der einzelnen Brennelementkomponenten nach der Herausnahme aus dem Reaktor aufgebaut hat und dann wieder abnimmt. Hier erkennt man die Bedeutung der Wasserbecken, in denen durch intensive Kühlung ein großer Teil der Wärme gleich zu Beginn abfließt. Die Restwärme verbleibt – ähnlich wie die Radioaktivität – im sogenannten Atommüll und im Plutonium, wo sie sehr langsam im Maß des Zerfalls frei und von der Umgebung aufgenommen wird.

Bei einer Reihe von chemischen Nebenprozessen, z.B. bei der Regenerierung des Extraktionsmittels, der Wiedergewinnung von Prozeßchemikalien oder auch der Reinigung bei Betriebsstörungen, fallen weitere radioaktive Flüssigkeiten an. Sie sind entweder mittel- oder schwachaktiv. Mittelaktive Flüssigkeiten besitzen eine Aktivität von 1/10000 – 10 Ci/l, während die Aktivität der schwachaktiven Flüssigkeiten unter 1/10000 Ci/l liegt.

Zu den mittelaktiven Abfällen zählt auch das in einem Nebenprozeß der Extraktion abgetrennte Tritiumwasser, das in der Wiederaufarbeitungsanlage bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert werden muß.

Die mittel- und schwachaktiven Abwässer werden konzentriert und zunächst ebenfalls zwischengelagert. Neben Flüssigkeiten fällt noch eine Reihe fester mittelaktiver Abfallstoffe an, z. B. Filter, Papier, Stoff, Gummi, Kleidungsstücke, Handschuhe und Überschuhe, die bei Reinigungsoperationen kontaminiert werden.

Diese festen radioaktiven Abfälle werden soweit wie möglich verbrannt; die Asche und die festen nicht brennbaren Teile werden mit Beton in Fässern vergossen, schwach- und mittelradioaktive flüssige Abfälle bindet man durch Vermischen der Konzentrate mit Bindemitteln, wie z. B. Zement oder Bitumen, und fixiert die Mischung in Fässern. Die Fässer werden dann in die Kammern des in einem Salzstock befindlichen Endlagers transportiert.

Die mit Krypton gefüllten Druckgasflaschen sollen in Bunkern gelagert werden, die im Innern in einzelne Zellen abgeschottet sind. Das Lager muß mit Luft gekühlt werden, da die Wärmeentwicklung der einzelnen Flaschen zu Beginn hoch ist. Ein solches Kryptonlager muß für etwa 100 Jahre aufrechterhalten bleiben.

In der beschriebenen großen Wiederaufarbeitungsanlage werden pro Jahr etwa 600 $m^3$ hochradioaktive flüssige Abfälle entstehen, 1500 $m^3$ mittelaktive wäßrige Abfälle, 120 $m^3$ flüssige organische Abfälle, 3000 $m^3$ tritiumhaltiges Wasser und rund 3000 $m^3$ verfestigte bzw. feste Abfälle.

## *Es geht jetzt um eine Großanlage*

Selbstverständlich sahen sich die Partner der GWK auch danach um, was in den europäischen Nachbarländern auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung geschah.

In Großbritannien und Frankreich waren Anlagen mit Kapazitäten von jeweils 2500 bzw. 1500 Tonnen installiert. Die Brennelemente der eigenen Reaktorbaulinien und der Graphitreaktoren

wurden aufgearbeitet. Der Bau dieser Anlagen war im Interesse der Plutoniumbeschaffung sehr früh vorangetrieben worden.

Unterdessen hatte sich jedoch herausgestellt, daß zunächst die Leichtwasserreaktoren das Feld der Kraftwerksreaktoren beherrschen würden. Um ihren Wiederaufarbeitungsanlagen, die für die Aufarbeitung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren nicht ohne weiteres geeignet waren, auch noch in den nächsten 10–15 Jahren hinreichend auszulasten, begannen die Engländer und Franzosen, die bisherigen Anlagen umzubauen.

Die englische Wiederaufarbeitungsanlage in Windscale war 1971 soweit ausgerüstet, daß sie über eine Kapazität von nominell 400 Jahrestonnen Uran zur Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren verfügte.

Die französische Anlage in La Hague sollte 1975 ebenfalls mit einer Kapazität von 400 jato ihren Betrieb aufnehmen. Für beide, übrigens vom Staat finanzierten Anlagen war der Ausbau auf 800 jato vorgesehen. Angesichts der zunächst noch geringen Mengen des in den 70er Jahren anfallenden Brennstoffes zeichneten sich somit Überkapazitäten ab. Sie waren so groß, daß sie es der deutschen Industrie in Konkurrenz zu den staatlichen Unternehmungen in England und Frankreich nicht erlaubt hätten, eine wirtschaftlich lebensfähige Wiederaufarbeitungsindustrie aufzubauen.

Da aber auch die englischen und französischen Anlagen nach kommerziellen Gesichtspunkten nicht hätten betrieben werden können, kamen die Regierungen überein, eine internationale Kapazitätsabsprache zu treffen, nach der Engländer und Franzosen den Ausbau ihrer Anlagen wie geplant vornehmen sollten.

Wir Deutschen erhielten die Option, Anfang der 80er Jahre nach Auslastung der englischen und französischen Anlagen eine große eigene Wiederaufarbeitungsanlage fertigzustellen und zu betreiben. Die vier in der GWK zusammengeschlossenen Industriepartner Bayer, Gelsenberg, Hoechst und Nukem gründeten im August 1971 die KEWA Kernbrennstoff-Wiederaufarbeitungs-Gesellschaft mbH. Ihr Zweck: Eine große kommerzielle Aufarbeitungsanlage zu planen, zu bauen und zu betreiben.

Die KEWA ihrerseits wiederum gründete mit der British Nuclear Fuels Limited (BNFL), von der die englische Wiederaufarbeitungsanlage betrieben wurde, und dem Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), das für die französische Wiederaufarbeitungsanlage zuständig war, die internationale United Reprocessors GmbH mit Sitz in Frankfurt am Main.

Der Konsortialvertrag dieser Gesellschaft regelt die Kapazitätsabsprachen, die von der Kommission für Wettbewerb der Europäischen Gemeinschaften ausdrücklich genehmigt wurde, und sieht einen technischen Erfahrungsaustausch zwischen den drei Partnern vor. Ein entsprechendes Abkommen wurde 1974 unterzeichnet.

### *Ein Konzept der KEWA*

Im Jahre 1974 begann die KEWA mit eigenen Mitteln eine Konzeptstudie für die große Wiederaufarbeitungsanlage in Deutschland. Diese Studie wurde Mitte 1975 fertiggestellt. Sie enthielt die Erfahrungen aus der WAK und aus dem mit den Engländern und Franzosen inzwischen angelaufenen Erfahrungsaustausch. Ferner waren die Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten des Kernforschungszentrums Karlsruhe auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung berücksichtigt.

Es war nicht immer leicht, die Ideen der Karlsruher Forscher mit den mehr anwendungsorientierten Absichten der industriellen Partner in Einklang zu bringen. Vor allem Franz Baumgärtner, der Leiter des Instituts für Heiße Chemie, erkannte frühzeitig, wie notwendig ein koordiniertes Vorgehen war.

Zu Beginn des Jahres 1974 wurden die Voraussetzungen für eine solche Koordination geschaffen. Das Kernforschungszentrum faßte seine Aktivitäten auf dem Gebiet der Wiederaufarbeitung zum Projekt »Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung« zusammen. Das Ziel hieß, die Aktivitäten vornehmlich auf die Belange der großen Wiederaufarbeitungsanlage auszurichten.

Die Konzeptstudie der KEWA brachte unter anderem folgende

Erkenntnisse: Der Verfahrensablauf in schwer zugänglichen Betonzellen mit einem hohen Radioaktivitätspegel erschwert die Reparaturen außerordentlich. Bei vielen Eingriffen war es notwendig, den Betrieb längere Zeit stillzulegen. Um eine hohe Verfügbarkeit einer Wiederaufarbeitungsanlage zu gewährleisten, müßte sie mit Reserveaggregaten versehen und zum Teil doppelsträngig ausgelegt werden. Das aber führt zu einer aufwendigen Bauweise und zu hohen Investitionskosten.

Eine zusätzliche Erhöhung der Investitionskosten ergab sich aus den Genehmigungsauflagen, die immer strenger wurden. Es gehören jetzt dazu die sichere Auslegung gegen Flugzeugabsturz, gegen Sabotage und Erdbeben sowie der Einbau von Anlagen, um radioaktive Emissionen wie Krypton zurückzuhalten. Solche Anforderungen werden zur Zeit z. B. weder in Frankreich noch in England gestellt.

Die Kostenschätzungen der KEWA haben aus diesen Gründen zu Investitionssummen geführt, die ein Vielfaches der früheren Annahmen ausmachten. Die Folge ist, daß die Wiederaufarbeitung für sich allein gesehen nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann. Damit wurde den Gesellschaftern der KEWA die Basis für eine unternehmerische Betätigung auf diesem Gebiet entzogen. Auf der anderen Seite betonte die Elektrizitätswirtschaft, daß die Kosten der Wiederaufarbeitung die Wirtschaftlichkeit der Kernkraftwerke nicht gefährden.

Da schließlich die Bundesregierung aufgrund des von ihr verkündeten Verursacherprinzips erwartete, daß die Kosten für die Wiederaufarbeitung von der Elektrizitätswirtschaft aufgebracht würden, die wiederum die Möglichkeit hat, diese Kosten auf den Strompreis umzulegen, fiel der Elektrizitätswirtschaft die unternehmerische Aktivität auf diesem Gebiet zu.

Die Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU), die Kernkraftwerke betrieben, bauten oder planten, schlossen sich im Juli 1975 zur Projektgesellschaft Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (PWK) zusammen. Sie erteilten zunächst der KEWA den Auftrag für eine entsprechende Vorplanung.

Als erstes Zwischenergebnis hat KEWA den Sicherheitsbericht erarbeitet, der bei allen kerntechnischen Anlagen zunächst einmal vorgelegt werden muß, wenn die Genehmigung für die Anlage beantragt wird.

Unterdessen haben sich die EVU im Rahmen ihres Kernkraftwerkprogramms zum Bau der großen Wiederaufarbeitungsanlage entschlossen. Sie haben die PWK zur Deutschen Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen (DWK) umfirmiert, deren Stammkapital erhöht und den Genehmigungsantrag auf Errichtung der Anlage eingereicht.

Die DWK ist dann an die bisherigen Gesellschafter der KEWA mit dem Wunsch herangetreten, deren Anteile sowohl an der KEWA als auch an der GWK zu übernehmen, um die unternehmerische Aufgabe des Baus und Betriebs der großen Wiederaufarbeitungsanlage nunmehr allein zu übernehmen.

Die Abtretung der Anteile ist inzwischen geschehen.

### *Die Kapazitäten werden zu gering*

In der ersten Hälfte der 70er Jahre bestand ein Überangebot an Wiederaufarbeitungsmöglichkeiten. Inzwischen haben wir eine Engpaßsituation. Wegen eines technischen Versagens mußte in der englischen Anlage Windscale der für die Aufarbeitung von Leichtwasser-Reaktorbrennelementen umgebaute Anlagenteil abgeschaltet werden. Die Engländer entschlossen sich, diesen zum Teil mit veralteten Komponenten ausgerüsteten Komplex nicht wieder in Betrieb zu nehmen. Sie planen, unter gewissen Voraussetzungen eine neue 800-jato-Anlage im Jahre 1985 betriebsbereit zu haben.

Die Franzosen begannen mit der Aufarbeitung von Brennelementen aus Leichtwasserreaktoren in einer ersten erfolgreichen Kampagne im Juni 1976. Um alle Betriebserfahrungen auszunutzen, soll die französische Anlage aber nur stufenweise auf ihre volle Kapazität bis zum Jahre 1980 hochgefahren werden. Bisher wurde allerdings weder mit dem Bau der englischen Anlage noch mit einer neuen französischen Anlage begonnen. So muß damit gerechnet

werden, daß in den 80er Jahren in Europa nicht genügend Kapazität zur Verfügung steht.

Es ist also dringend, die Planungsarbeiten für die große Wiederaufarbeitungsanlage und die noch notwendigen Entwicklungsarbeiten energisch voranzutreiben.

Der Entwicklung zum großtechnischen Maßstab bedürfen vor allem die Verfahren zur Konditionierung und Endlagerung der Abfälle, insbesondere der hochaktiven. Die in der Wiederaufarbeitung anfallenden schwach- und mittelaktiven Abfälle wurden bisher vom Kernforschungszentrum Karlsruhe verfestigt. Die GfK hat die in Fässern einbetonierten oder bituminierten Abfälle sodann zum Salzbergwerk Asse verschickt, wo sie eingelagert wurden. Für die Verfestigung hochradioaktiver Abfälle gibt es in der Bundesrepublik mehrere Verfahren. Sie sind bisher jedoch nur im Labormaßstab erprobt.

Die Verantwortung für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle im geplanten Entsorgungszentrum wird die Bundesregierung übernehmen. Sie wird sich hierzu der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt bedienen, die wiederum ein Industrieunternehmen mit der Betriebsführung des Endlagers beauftragen wird.

Welches Unternehmen schließlich diese Aufgaben übernehmen wird, steht noch nicht fest. Das von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) betriebene Salzbergwerk Asse hat bisher erfolgreich und ohne Schädigungen und Unfälle über Jahre hinaus schwach- und mittelaktive Abfälle eingelagert. Es hat sich gezeigt, daß eine Lagerung dieser Abfälle in Salz möglich ist. Für die Einlagerung hochaktiver Abfälle werden die Versuche vorbereitet. Es besteht kein Grund zu befürchten, daß die Abfälle nicht sicher über längere Zeiträume gelagert werden können.

In der Bundesrepublik gibt es Steinsalzformationen, die sich seit mindestens 100 Millionen Jahren nicht mehr verändert haben. Dieser Zustand wird in der Zeit, in der die radioaktiven Abfälle gelagert werden müssen, kaum anders sein. Es sei denn, durch Naturkatastrophen in einem unvorstellbaren Ausmaß, die ein Großteil der Menschen nicht überleben würde.

Nach einer Zeit von etwa 10000 Jahren wird die Radiotoxizität des Leichtwasserreaktorabfalls praktisch auf die von Pechblende mit sehr hohem Urangehalt abgeklungen sein, wie sie in wenigen natürlichen Lagerstätten als extrem reiches Uranerz ebenfalls vorkommt.

Hierzu gibt es allerdings auch optimistischere Untersuchungen. Danach werden die Risikozeiträume nicht 10000 Jahre, sondern »nur« 1000 Jahre ausmachen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß es in der Wiederaufarbeitung und Abfallkonditionierung noch eine Reihe von Verfahrensschritten geben mag, denen unter dem Gesichtspunkt eines kommerziellen Betriebes mit einer hohen Verfügbarkeit der Anlage noch die entscheidende technische Reife fehlt. Es besteht aber kein Zweifel, daß unsere Kenntnisse ausreichen, um alle Anlagen umweltsicher zu betreiben.

Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung zusammen mit den in anderen Kapiteln beschriebenen Verfahren der Urangewinnung, -konversion und -anreicherung sowie der Brennelementfertigung bilden den sogenannten Brennstoffkreislauf.

Eine schematische Darstellung dieses Brennstoffkreislaufes gibt Bild 16 wieder. Das Schema macht deutlich, daß die Wiederaufarbeitung unter Gewinnung von Uran und Plutonium die Rückführung dieser Kernbrennstoffe über eine erneute Brennelementfertigung in den Kernreaktor ermöglicht.

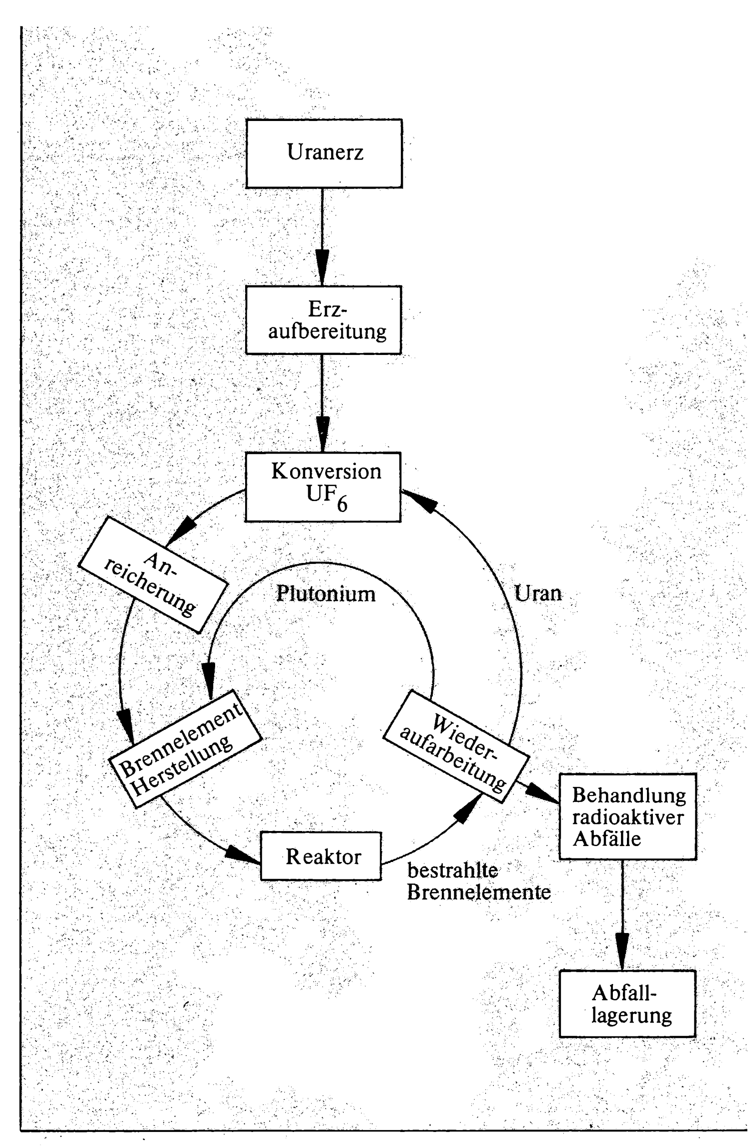



Bild 16 Brennstoffkreislauf

# Kapitel 12
# RADIOAKTIVITÄT UND SICHERHEIT

Der Begriff der Strahlenschädigung und ihrer Folgen ist der Allgemeinheit erst durch die Atombombenabwürfe bewußt geworden. Die damit verbundenen gefährlichen Auswirkungen hinterließen einen Schock, der eine nüchterne Beurteilung der wirklichen Risiken, soweit sie mit der Kernenergie zusammenhängen, noch heute erschwert.

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen gegen Ende des vorigen Jahrhunderts dauerte es noch lange Zeit, bis die mit der Strahlung verbundenen Gefahren erkannt und erforscht wurden. Friedrich Dessauer begann 1925 in Frankfurt systematische Untersuchungen über die biologische Wirkung der Strahlen. Er hatte selbst an den Anfängen der Röntgentechnik mitgearbeitet und war schwer gezeichnet von Röntgenstrahlenverbrennungen, als er 1963 im Alter von 82 Jahren verstarb. Sein Mitarbeiter Boris Rajewsky führte als Leiter des Kaiser-Wilhelm- und späteren Max-Planck-Institutes für Biophysik diese Arbeiten weiter.

Mit der Entwicklung der Kerntechnik wurden zunächst in den USA und dann weltweit die biologischen und meßtechnischen Grundlagen des Strahlenschutzes erarbeitet, die zur Festlegung von Grenzwerten der äußeren und inneren Strahlenbelastung durch die Internationale Kommission für Strahlenschutz führten. Dabei versteht man unter äußerer Strahlenbelastung das, was aus Umwelteinflüssen auf den Menschen einwirkt. Innere Strahlenbelastung rührt von Radioaktivität, die im Menschen von Natur, z. B. aus dem

Kalium des Körpers, vorhanden ist oder solcher, die durch äußere Einflüsse, z.B. durch Atmung, inkorporiert wird.

Lange Zeit hat man die Gefährdung durch Strahlung sehr leicht genommen. Noch vor kurzer Zeit sah man in Schuhgeschäften Röntgenapparate, mit deren Hilfe der Kunde – bei einem Einkauf mehrmals – prüfte, ob seine Schuhe paßten. Die 1973 erlassene neue Röntgenverordnung schränkt den unnötigen Gebrauch dieser Strahlung weitgehend ein und sorgt durch genaue Vorschriften dafür, daß im medizinischen Bereich die Strahlenbelastung so gering wie möglich gehalten wird.

Auf ähnliche Weise wie von der Röntgenstrahlung geht auch von der radioaktiven Strahlung eine schädigende Wirkung auf lebendes Gewebe (Körpergewebe) aus. Radioaktive Strahlung entsteht beim Zerfall gewisser in der Natur vorkommender radioaktiver Atomkerne wie Uran oder Radium, und – wie schon dargelegt – in ungleich größerer Intensität bei den in einem Reaktor ablaufenden Kernumwandlungen. Je nach Art der Kernumwandlung entsteht Alpha-, Beta- und Gammastrahlung. Außerdem entsteht im Reaktor Neutronenstrahlung; es sind ja Neutronen, die die Kettenreaktion im Reaktor aufrechterhalten.

Beim Eindringen in lebendes Gewebe können diese energiereichen Strahlen die chemischen Substanzen, die Moleküle, zerstören oder umwandeln, die für den Stoffwechsel der Zelle wichtig sind. Auf diese Weise kann der Organismus schwer geschädigt werden. Eine besondere Gefahr geht davon aus, daß die radioaktive Strahlung auch diejenigen Zellen und Moleküle angreift, in denen die Erbanlagen festgehalten sind. Genetische Veränderungen und Erbschäden sind die Folgen.

Die Menschen, die mit radioaktiven Substanzen in Berührung kommen, müssen also vor dieser Strahlung geschützt werden. Dieser Schutz ist für die verschiedenen Arten von Strahlung unterschiedlich schwierig zu bewerkstelligen. Alphastrahlung hat ein sehr geringes Durchdringungsvermögen, ein ausreichender Schutz ist daher schon durch Handschuhe, Folien und dergleichen gegeben. Betastrahlen durchdringen Metallschichten von einigen Millimetern

Dicke und müssen entsprechend stärker abgeschirmt werden. Am stärksten ist das Durchdringungsvermögen von Gammastrahlung. Hier sind dicke Bleiwände oder besondere Glasscheiben von oft über einem halben Meter Dicke erforderlich. Neutronenstrahlen schließlich werden durch stark wasserstoffhaltige Substanzen wie Paraffin abgebremst. Die abgebremsten Neutronen werden dann durch dazu besonders geeignete Substanzen wie Bor oder Cadmium geschluckt.

Die Wirkung der Strahlung ist naturgemäß um so gefährlicher, je mehr davon im Körper absorbiert wurde. Als Maß für die pro Gramm Körpergewicht absorbierte Strahlungsenergie wurde das »rad« (radiation absorbed dose) eingeführt.

Bei der Beschreibung der Gefährlichkeit der Strahlung ist allerdings noch zu beachten, daß die verschiedenen Strahlungsarten bei gleichviel absorbierter Energie unterschiedliche schwere Schädigungen hervorrufen. Zur Beschreibung der »biologischen Strahlenbelastung« multipliziert man daher die Zahl der »rad« noch mit einem Faktor, der die biologische Gefährlichkeit, d.h. die relative biologische Wirksamkeit (RBW) der betreffenden Strahlung berücksichtigt. Man erhält so die allgemein verwendete Einheit »rem« (rad equivalent man). Für Beta- und Gammastrahlung ist dieser RBW-Faktor gleich 1, für die relativ gefährlichere Neutronenstrahlung beträgt sein Wert zwischen 2 und 11. Wenn der Körper eine Strahlendosis von einem rad absorbiert hat, entspricht dies also einer biologischen Strahlenbelastung von einem rem, wenn es sich um Betastrahlung handelte, von 2–11 rem, wenn es sich um Neutronenstrahlung handelte. Ein mrem bedeutet $^{1}/_{1000}$, das heißt 0,001 rem.

Der Mensch hat kein Sinnesorgan für die Wahrnehmung der ionisierenden Strahlung und empfindet auch die Belastung nicht unmittelbar.

Die biologische Wirkung der radioaktiven Strahlung ist, abgesehen von den genetischen Schäden, nicht einfach additiv. Der Körper hat offensichtlich ein Regenerationsvermögen und baut geringfügige Schäden wieder ab. So kann eine Strahlendosis, deren Auf-

nahme – über ein ganzes Jahr verteilt – unschädlich ist, kurzzeitig als Stoßbelastung aufgenommen, bleibende Schäden verursachen. Aus diesem Grund darf die in einem Vierteljahr aufgenommene Dosis nicht mehr als die Hälfte des Jahreswertes betragen.

### *Natürliche Strahlenbelastung*

Andererseits ist der Mensch von jeher natürlichen Strahlenbelastungen ausgesetzt, die ohne sein Zutun und ohne seine Einwirkungsmöglichkeit aus der kosmischen Strahlung, der natürlichen Radioaktivität der Umwelt und den im menschlichen Körper vorhandenen radioaktiven Stoffen, hauptsächlich dem Kalium, herrühren. Diese Strahlendosis ist von Ort zu Ort verschieden. Mit zunehmender Höhe wächst die durch kosmische Strahlung verursachte Strahlenbelastung. Sie liegt in Meereshöhe bei einer Dosis von etwa 30 mrem pro Jahr, steigt zwischen 1000 und 3000 m Höhe auf 50 bis 100 mrem pro Jahr an und erreicht in einer Höhe von 6000 m etwa 800 mrem pro Jahr.

In Urgesteinen ist die Radioaktivität größer als in Sedimenten. Auch Baustoffe, die aus solchen Gesteinsarten hergestellt worden sind, erzeugen eine merkliche, aber unterschiedliche Radioaktivität. Allgemein liegt die natürliche Strahlendosis, der die Menschen ausgesetzt sind, bei insgesamt 110 mrem pro Jahr.

Über die Wirkung einer geringen Strahlendosis auf den lebenden Organismus weiß man noch sehr wenig. Es ist auch gar nicht sicher, ob diese natürliche Strahlendosis für den Menschen überhaupt eine Belastung darstellt. Es ist durchaus möglich, daß sie als natürlicher Umweltfaktor eine selbstverständliche Einflußgröße ist, die wie viele solcher Einwirkungen nur im Übermaß schädlich sind. So kann die ionisierende Strahlung in geringen Dosen ähnliche Wirkungen haben wie das UV-Licht, das bei zu großer Dosierung Verbrennungsschäden hervorruft, wie sie das Sonnenlicht verursacht.

Wir wissen aber auch, daß vollständiger Entzug des Sonnenlichtes schädlich ist und z.B. Mangelkrankheiten wie Rachitis hervorruft. Ebenso kann es durchaus sein, daß ein vollständiger Entzug

der radioaktiven Strahlung dem Menschen schaden und deswegen z.B. die Einwirkung radioaktiver Heilwässer auch nützlich sein kann. Jedenfalls steht fest, daß die Menschen seit Urzeiten mit dieser natürlichen Strahlendosis leben.

Nach zahlreichen Kernexplosionen im Zuge der nuklearen Aufrüstung regten sich die Aufmerksamkeit und Empörung der Weltöffentlichkeit, die zum ersten Mal Ergebnisse von weltweiten Messungen erfuhr. Tatsächlich stieg die Strahlenbelastung durch die in die Atmosphäre geschleuderten radioaktiven Stoffe um ca. 25% an.

Diese Messungen lieferten nebenher auch einen naturwissenschaftlichen Beitrag. Der zeitliche Verlauf der weltweit am Erdboden gemessenen Konzentrationen der verschiedenen Radionuklide ergab Rückschlüsse auf die Ausbreitung und Verweilzeit dieser Stoffe in der höheren Atmosphäre und auf den Austausch der höheren mit den niederen Atmosphärenschichten.

Die Messung der kurzlebigen Radionuklide, wie Jod-131 mit einer Halbwertszeit von acht Tagen, das bald nach einer Kernexplosion sowohl in den USA als auch in den europäischen Ländern mit ungefähr gleicher Konzentration gemessen wurde, zeigte die rasche Ausbreitung in der Atmosphäre. Während solche kurzlebigen Spaltprodukte durch radioaktiven Zerfall bald vollständig abgebaut wurden, gelangten Radionuklide wie Strontium-90 und Cäsium-137 mit Halbwertszeiten von ca. 30 Jahren noch über lange Zeit aus der höheren Atmosphäre zum Erdboden.

Als 1964, ein Jahr nach dem Stopp oberirdischer Atombombenversuche, die allgemeine Belastung der Atmosphäre mit radioaktiven Stoffen weitgehend abgeklungen war, wurden diese langlebigen Radionuklide in Nahrungsmitteln noch in Konzentrationen festgestellt, die als Dauerbelastung der Gesamtbevölkerung die zulässigen Grenzwerte überschritten.

Es ist immerhin beruhigend, daß jetzt auch kleinste Konzentrationen radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre international festzustellen sind und ihre Ursache ermittelt werden kann.

Die äußere Strahlenbelastung wird in den Laboratorien durch Gammastrahlung und in den kerntechnischen Anlagen außerdem durch Neutronenstrahlung hervorgerufen. Sie muß und kann durch geeignete Abschirmvorrichtungen auf ein vertretbares Minimum gesenkt werden.

Alle Arbeitsplätze werden durch geeignete Meßeinrichtungen kontrolliert. Die Belastung der einzelnen Menschen wie auch der jeweiligen Besucher wird durch ablesbare sogenannte Dosimeter verfolgt. Die monatlich aufgenommene Dosis wird von staatlichen Behörden überwacht.

Die innere Strahlenbelastung entsteht durch Eindringen radioaktiver Stoffe in den Körper über die Atmung oder über die Haut. Um eine solche zu verhindern, muß das Personal in den Arbeitsräumen vor dem Einatmen flüchtiger radioaktiver Stoffe geschützt werden. In den Laboratorien dienen dazu mit Unterdruck betriebene Boxen, die nur über Schleusen zugängig sind. Die Aufnahme über die Haut, vorwiegend über die Hände, wird mit Hilfe von Handschuhen und Ferngreifern vermieden.

Einverleibungen in den menschlichen Körper werden durch Messen der austretenden Strahlung, z. B. Messung der Schilddrüse bei Verdacht auf radioaktives Jod, und durch Kontrolle der Ausscheidungen laufend überprüft. Über die Meßwerte der äußeren und inneren Bestrahlung wird Protokoll geführt.

Aufgrund der weltweit erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse kam es zu exakten gesetzlichen Vorschriften. Der Wert der Ganzkörperbestrahlung für das Personal, das in kerntechnischen Anlagen und in Laboratorien mit der Handhabung von radioaktiven Stoffen beschäftigt ist, soll 5 rem pro Jahr nicht überschreiten. Dieser Grenzwert betrifft speziell die maximal zulässige Strahlenbelastung der Augenlinse und der blutbildenden Organe (Knochenmark) sowie der Geschlechtsorgane. Eine höhere Strahlenbelastung ist unter dem Begriff der Teilkörperbestrahlung zugelassen für Hände, Unterarme und Füße mit 60 rem pro Jahr sowie für

Knochen, Schilddrüse und reine Hautbelastung mit 30 rem pro Jahr und andere Organe mit 15 rem pro Jahr.

Diese den Euratom-Normen entsprechenden Grenzwerte waren bis 1976 allgemein für strahlenexponiertes Personal gültig. Die neue, 1977 in Kraft getretene Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland unterscheidet strahlenexponierte Personen der Kategorie A und B. Für Kategorie A gelten die oben angegebenen Grenzwerte weiter. Für die Kategorie B liegen die entsprechenden Werte um den Faktor 3 niedriger. Diese Einteilung wurde aufgrund der Erfahrung vorgenommen, daß in den letzten Jahren bei der überwiegenden Mehrzahl der strahlenexponierten Personen die Ganzkörperbelastung unter 1 rem pro Jahr lag.

Mit dieser Einteilung ist eine Lockerung der Vorschriften insofern verbunden, als nur noch Beschäftigte der Kategorie A wie bisher nach der ärztlichen Einstellungsuntersuchung jährlich neu für ihre Tätigkeit zugelassen werden müssen, während für Beschäftigte der Kategorie B die jährlichen Wiederholungsuntersuchungen entfallen.

In Ländern mit geordneter Gewerbeaufsicht besteht die Garantie dafür, daß diese auch eingehalten werden. Es gibt kaum ein Gebiet, auf dem die Vorschriften des Arbeitsschutzes so detailliert schon vor Betrieb der Anlagen festgelegt und ihre Einhaltung während der Arbeit kontrolliert werden.

Nur in den Entwicklungsjahren der Kerntechnik hat es einige Personenschäden gegeben, die damals noch aus Unkenntnis der Gefahren möglich waren. Solche Vorkommnisse sind in der amerikanischen Fachliteratur ausführlich analysiert und beschrieben worden. Diese Werte aus der ersten Zeit der Kerntechnik haben heute nur noch historische Bedeutung. Sie dürfen keineswegs in die Gegenwart extrapoliert und zu unsachlichen Schlüssen verwendet werden, wie es vielfach geschieht.

Der Schutz der Umwelt betrifft die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Inkorporation radioaktiver Stoffe aus Abluft, Abwasser und Abfall aus kerntechnischen Anlagen und Laboratorien, in denen mit radioaktiven Stoffen gearbeitet wird.

Für die Ableitung von Abluft und Abwasser sind maximal zulässige Konzentrationswerte (MZK-Werte) für alle praktisch vorkommenden Nuklide festgelegt, welchen die zulässige Strahlenbelastung der kritischen Organe zugrunde liegt. Zu diesen MZK-Werten treten als weitere Begrenzung örtlich festgesetzte Maximalwerte, die sich nach der Anzahl und Größe der in einem Gebiet befindlichen kerntechnischen Anlagen richten.

Die jüngste deutsche Strahlenschutzverordnung hat die jährliche Grenzdosis der Belastung aus kerntechnischen Einrichtungen für die Gesamtbevölkerung von 0,5 rem pro Jahr auf einen Wert von 30 mrem pro Jahr zurückgesetzt. Dieser neue Grenzwert entspricht etwa 1/4 der natürlichen Strahlenbelastung. Bei der Auslegung von Kernkraftwerken liegt damit die zulässige Umweltbelastung um den Faktor 500:30, d.h. 17mal niedriger als bisher.

Diese Vorschriften können von den derzeitigen Kernkraftwerken mühelos eingehalten werden. Kühlkreisläufe haben hochentwikkelte Reinigungssysteme, mit denen radioaktive Substanzen, die durch Korrosion und Verschleiß in das Kühlwasser gelangt sind, zurückgehalten werden. Selbstverständlich wird die Konzentration in diesen Kreisläufen genau überwacht. Hierfür sind präzise Methoden entwickelt worden, um selbst Spuren von Radioaktivität im Abwasser so niedrig wie möglich zu halten und auch jeweils genau zu ermitteln. Seit einiger Zeit veröffentlicht die Bundesregierung regelmäßig mittlere Werte der Strahlenbelastung, wie sie durch Messungen ermittelt werden. Unveränderlich ist zunächst die schon erwähnte Strahlenbelastung für die Gesamtbevölkerung von 110 mrem pro Kopf und Jahr.

Dieser Wert, auf den der Mensch keinen Einfluß hat, setzt sich etwa wie folgt zusammen:

| | |
|---|---|
| Es stammen aus kosmischer Strahlung | 30 mrem |
| aus terrestrischer Strahlung von Gesteinen und Baustoffen | 60 mrem |
| aus radioaktiven Stoffen im menschlichen Körper | 20 mrem |
| Summe | 110 mrem |

| | |
|---|---|
| Hinzu aus Anwendung von Röntgenstrahlen und radioaktiven Stoffen in der Medizin | 50 mrem |

Darin sind z. Z. enthalten weit weniger als 1 mrem aus kerntechnischen Einrichtungen.

Selbst wenn die gesamte elektrische Energie der Bundesrepublik Deutschland aus Kernkraftwerken geliefert würde und der Energieverbrauch um ein Mehrfaches größer wäre als zur Zeit, läge die von der Kerntechnik stammende innere und äußere Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung noch unter 1 mrem pro Kopf und Jahr.

Alles dies ist nur richtig, solange mit Sorgfalt gearbeitet wird. Inzwischen ist auch längst sichtbar geworden, daß in der Nähe kerntechnischer Anlagen die Unruhe der Bevölkerung nicht mehr so groß ist, wenn die Einrichtung unter sorgfältiger Kontrolle einige Monate lang in Betrieb ist.

Die gut durchdachte und durch internationale Vereinbarungen gesicherte Kontrolle könnte alle diejenigen, die mit dem Problem vertraut sind, beruhigen und sollte auch der Allgemeinheit der Menschen ein gewisses Vertrauen einflößen. Aber die Tatsache, daß man diese Strahlenbelastung nicht empfindet und deswegen auch eine etwaige Überbeanspruchung körperlich nicht wahrnimmt, hinterläßt eine bleibende Unsicherheit und gibt dem Problem der Kernenergie eine unheimliche Note.

### *Reaktorsicherheit*

Mehr noch aber schrecken die merkwürdigen und gewaltigen Bauten der Kernreaktoren, deren Funktionen nur schwer verständlich gemacht werden können. Andererseits aber ist die friedliche Nutzung der Kernenergie von Beginn an mit solcher Vorsicht und mit so großem Bewußtsein vom wirklichen Risiko entwickelt worden, wie es kaum jemals in der Geschichte der Technik mit einem neuen Industriezweig geschehen ist.

Hier stand am Anfang die fürchterliche Vernichtungskraft der Atombombe, die alles in den Schatten stellte, was die Menschheit bisher an Schrecken erlebt hatte.

Bei der friedlichen Nutzung ist mit großer Vorsicht vorgegangen und jede Unfallgefahr so weit wie irgendwie erkennbar ausgeschlossen worden.

### *Der Kernreaktor ist niemals eine Atombombe*

Zunächst muß einmal festgestellt werden, daß ein Kernreaktor sich in grundlegenden Eigenschaften von einer Atombombe unterscheidet. Infolgedessen kann auch niemals durch einen Kernreaktor eine nukleare Explosion entstehen, die einer Atombombe ähnlich wäre.

Grundsätzlich werden bei jeder Kernspaltung 2–3 Neutronen freigesetzt, von denen jedes wiederum eine neue Kernspaltung auslösen kann, wenn es nicht vorher absorbiert oder ohne jede Wechselwirkung mit anderen Kernen aus der räumlichen Anordnung herausfliegt und damit für eine Kernreaktion verlorengeht.

Die Atombombe besteht aus praktisch 100%igem U 235 oder Pu 239. Voraussetzung für die Explosion, d.h. für das Nutzbarmachen aller freiwerdenden Neutronen, ist – wie schon beschrieben – eine kritische Masse von etwa 50 kg. Zur Zündung werden die zwei Hälften dieser Masse mit Hilfe eines konventionellen Sprengstoffs aufeinandergeschossen. Die Kettenreaktion läuft dann in der unvorstellbaren kurzen Zeit von 1 Milliardstel Sekunde ab.

Im Kernreaktor hingegen wird Spaltstoff mit niedrigen Anreicherungsgraden eingesetzt. Die Leichtwasserreaktoren enthalten 3% U 235 im Uran 238. Dabei liegt dann die kritische Masse bei einigen hundert Kilogramm und der Durchmesser der Reaktoren in der Größenordnung von Metern.

Durch automatisches Aus- und Einfahren der neutronenabsorbierenden Steuerstäbe in den Reaktorkern wird die Kettenreaktion kontrolliert und an der Grenze gehalten, an der Neutronenerzeugung und Neutronenverbrauch gleichgroß sind. Die Wärmeleistung des Kernreaktors ist der Anzahl der Kernspaltungen pro Zeit proportional. Die Wärme wird dadurch erzeugt, daß die auseinanderplatzenden Kernbruchstücke ihre kinetische Energie an das Spaltmaterial in den Brennelementen abgeben.

Ein Kernreaktor könnte auch bei Versagen aller Steuer- und Regeleinrichtungen nicht zur Atombombe werden, weil in der auf einen größeren Raum auseinandergezogenen Anordnung des Spaltstoffes im Reaktorkern eine explosionsartige Entwicklung der Kettenreaktion nicht möglich ist.

### *Die Regelung von Kernreaktoren*

Die Wärmeleistung des Kernreaktors wird automatisch über die Stellung der Steuerstäbe im Reaktorkern geregelt. Regelgröße als Maß für die Reaktorleistung ist die Neutronendichte, d.h. die Anzahl der Neutronen in der Volumeneinheit, die an verschiedenen Stellen des Reaktors mit mehreren voneinander unabhängigen Systemen laufend gemessen wird. Sowohl die Größe der Neutronendichte als auch die Geschwindigkeit, mit der sie sich ändert, dienen zur Regelung der automatischen Steuerung.

Auf den ersten Blick mag es erstaunlich erscheinen, daß ein Kernreaktor überhaupt über die Mechanik von Steuerstäben regelbar sein soll. Wie im Zusammenhang mit der Atombombe erwähnt, läuft die unkontrollierte Kettenreaktion außerordentlich schnell ab, bei der Atombombe beispielsweise innerhalb einer Milliardstel Sekunde. Wie kann ein derart schnell davonlaufender Prozeß über-

haupt gesteuert werden? Hierbei kommen der Technik zwei Tatsachen zur Hilfe.

Ein Reaktor wird in der Weise betrieben, daß von den bei der Spaltung eines Kernes freiwerdenden Neutronen genau eines für die Aufrechterhaltung der Kettenreaktion übrigbleibt, sind es nur geringfügig weniger, so schaltet sich die Reaktion ab, sind es geringfügig mehr, so läuft die Reaktion lawinenartig davon. Nun hat es die Natur so eingerichtet, daß von den bei der Spaltung eines Kernes freiwerdenden Neutronen ein kleiner Anteil nicht sofort im Augenblick der Spaltung frei wird, sondern erst um Sekunden verzögert aus den Spaltprodukten abdampfen. Zur Regelung dieser verzögerten Neutronen hat man also sekundenlang Zeit, genug, um Steuerstäbe mechanisch aus- und einzufahren.

Andererseits entscheidet dieser kleine Anteil der Neutronen aber darüber, ob etwas mehr oder etwas weniger als ein Neutron pro Spaltung übrigbleibt. Durch Regelung der verzögerten Neutronen kann man also bestimmen, ob die Kettenreaktion zu- oder abnimmt.

Die zweite Tatsache, die eine Regelung des Reaktors erleichtert, ist das Bestehen einer Art Selbststabilisierung des Reaktors. Bei einem Ansteigen der Temperatur im Reaktor wird die Wahrscheinlichkeit kleiner, daß ein freigesetztes Neutron eine weitere Kernspaltung durchführt. Das liegt daran, daß bei höherer Temperatur durch Wärmeausdehnung die Materie im Reaktorkern weniger dicht wird.

Die Selbststabilisierung arbeitet also so: Bei einem Ansteigen der Neutronendichte wächst die Zahl der Kernspaltungen, die erzeugte Wärme und damit die Temperatur nehmen zu. Dadurch verringert sich aber die Wahrscheinlichkeit für weitere Spaltungen, einer weiteren Steigerung der Neutronendichte wird also entgegengewirkt.

Beide Tatsachen erleichtern wesentlich die Steuerung eines thermischen Reaktors. Beim Schnellen Brüter gestaltet sich die Steuerung schwieriger.

### *Notabschaltung von Kernreaktoren*

Unabhängig vom Regelsystem mit den Steuerstäben ist das System der Abschaltstäbe, die normalerweise aus dem Reaktorkern herausgefahren sind. Sie werden bei einem gefahrbringenden Leistungsanstieg automatisch schlagartig eingefahren. Als Meßgrößen, die diesen Vorgang auslösen, dienen die Neutronendichte, die Temperatur im Reaktorkern und der Kühlwasserfluß. Durch einen Notausschalter kann der Schnellschluß auch von Hand betätigt werden. Eine weitere Notausschaltung, die automatisch in Kraft tritt, wenn das Einfahren der Abschaltstäbe versagen sollte, wird durch Einspritzen von Borlösung bewirkt, die in gleicher Weise wie die Abschaltstäbe durch Absorption von Neutronen die Kettenreaktion unterbricht.

Nach dem Abschalten wird im Reaktorkern noch Wärme – sogenannte Nachwärme – durch radioaktive Zerfallsprozesse der schon entstandenen Spaltprodukte entwickelt. Diese Wärmeleistung, die zum größten Teil mit einer Halbwertszeit von einigen Stunden abklingt, muß durch Kühlung abgeführt werden. Daher ist für den Fall, daß das Hauptkühlsystem mit dem Schnellschluß ausgefallen ist, ein Notkühlsystem mit unabhängigen Kreisläufen vorgesehen, das automatisch die Kühlung übernimmt.

### *Sicherheitsvorkehrungen für Störfälle*

Für den hypothetischen Fall, daß alle Abschaltmaßnahmen versagen, ist durch Einschließen des Reaktors in Stahl- und Betonhüllen dafür gesorgt, daß keine radioaktiven Substanzen in die Umwelt gelangen können.

Die gesamte Apparatur befindet sich in einem riesigen kugelförmigen Stahlbehälter, der in Biblis einen Durchmesser von 56 m hat und auf einen Druck von ca. 5 atü ausgelegt ist. Das ist der Druck, der maximal entstehen kann, wenn das gesamte im Gebäude enthaltene Wasser vollständig verdampft wird. Die Zugänge in den In-

nenraum des Stahlbehälters sind als gasdichte Schleusen ausgebildet.

Diese Stahlkugel ist von einem dickwandigen Betongebäude umgeben, das in der Lage ist, schwere Beschädigungen von außen durch Flugzeugabsturz, Erdbeben oder auch durch Terrormaßnahmen aufzufangen.

Der Raum zwischen dem Stahlkörper und dem Betongebäude wird auf einem leichten Unterdruck gehalten, damit bei einem Störfall keine radioaktiv kontaminierte Luft in die Umwelt gelangen kann. Die abgesaugte Luft wird über Spezialfilter von radioaktiven Stäuben oder Gasen gereinigt.

Im Innern dieses Reaktorgebäudes befindet sich der starkwandige Reaktordruckbehälter, der den Reaktorkern, die Anordnung der Brennelemente und der Steuerstäbe, enthält und von der Kühlflüssigkeit durchströmt wird. Der Reaktordruckbehälter – der in Biblis ca. 600 t wiegt – nimmt den Betriebsdruck von ca. 50–60 atü auf. Er ist zur Abschirmung der aus dem Reaktorkern austretenden Gamma- und Neutronenstrahlung mit einer Betonwand in Meterstärke umgeben, dem sogenannten biologischen Schild.

Der Reaktordruckbehälter kann unter der starken Strahlungseinwirkung unter Umständen seine Materialeigenschaften ändern. Aus diesem Grunde werden regelmäßig verschiedene Materialprüfungen vorgenommen. Zunächst werden im Reaktorkern, wo die Strahlendosis noch erheblich größer ist als am Behälter selbst, ständig Proben des Behältermaterials der Strahlung ausgesetzt und routinemäßig untersucht. Ferner wird der Behälter mit Ultraschallmeßköpfen von innen und außen auf eventuell auftretende Rißbildung untersucht. Schließlich wird der Behälter in bestimmten Zeitabständen mit einem über dem Betriebsdruck liegenden Prüfdruck auf seine Festigkeit geprüft.

Nach außen durch die Wand des äußeren Betongebäudes treten die Dampfleitungen aus, die den Dampf zu der außerhalb stehenden Turbine führen.

Die Sicherheit eines Kernreaktors ist der ständige Diskussionsgegenstand der Fachleute und in hohem Maße auch der Öffentlich-

keit. Im Laufe der Entwicklung sind alle die Überlegungen konstruktiv berücksichtigt worden, die nur irgendwie verwertet werden konnten. Für jeden Reaktor gibt es eine Kenngröße, den sogenannten GAU – den *G*rößten *A*nzunehmenden *U*nfall –, der von einer Kommission von Sachverständigen ermittelt wird.

Diese Größe schließt alle irgendwie möglichen Unfälle innerhalb des Reaktorgebäudes ein. Dieses ist so dimensioniert, daß es der Summe aller Unfallmöglichkeiten standhalten kann.

Das Genehmigungsverfahren ist in der Bundesrepublik Deutschland sehr hoch entwickelt. Darüber wird später berichtet (s. S. 240).

Die Industrie hat in Deutschland in vielen Jahrzehnten eine hohe Tradition von Sicherheitsvorstellungen und staatlicher Aufsicht geschaffen, die in der Welt schwerlich übertroffen wird. Dabei treten mit jedem Schritt, den man in der Entwicklung bei der Kernenergie weitergeht, immer neue Fragestellungen auf, die, wenn sie beantwortet sind, auch bei den Sicherheitsvorschriften berücksichtigt werden.

Ein akutes Thema ist auch heute noch die Möglichkeit der sogenannten »Berstsicherung«. Unter Bersten vesteht man hier das Zerplatzen des Reaktorgefäßes, wobei Trümmer des dickwandigen Gefäßes mit großer Wucht weggeschleudert werden können und dabei sowohl den biologischen Schirm, das Stahlgehäuse als auch die Betonhülle des Gebäudes durchschlagen. Ein solches Ereignis mit diesen Konsequenzen muß bei den heutigen Dimensionierungen der verschiedenen Schutzhüllen als recht unwahrscheinlich gelten.

Die Vorsorge besteht in diesem Fall in der ständigen Überprüfung der Materialeigenschaften und Veränderungen des Reaktorgefäßes und in einer Verstärkung des Reaktorgebäudes.

Die Sicherheitsvorkehrungen für Kernkraftwerke sind auch heute noch ständiger Gegenstand von Überlegungen für gesetzliche Vorschriften und für wissenschaftliche Untersuchungen. Zu dem Sicherheitsprogramm der Bundesregierung, das mit beträchtlichen Geldmitteln jährlich gefördert wird, gehört auch das Problem des

»Kernschmelzens«, das einige amerikanische Wissenschaftler aufgebracht haben. Sie unterstellen, daß die Bremsstäbe im Reaktorgefäß und die Kühlung versagen und daß dann das gesamte Core zusammenschmilzt und sich durch akkumulierte, nicht mehr beherrschbare Kernreaktionen ständig weitererhitzt. Auch so kann eine Explosion nicht entstehen. Aber nach diesen Vorstellungen könnte diese glühende Masse die Fundamente des Reaktors zerstören und durch weitere Wärmeentwicklung aus der Radioaktivität der Spaltprodukte tief in den Boden unter dem Fundament eindringen. Diese Möglichkeit wird von anderen Stellen als unwahrscheinlich betrachtet. Trotzdem wird neuerdings eine Vorrichtung diskutiert und für bestimmte Reaktoren eingeplant, die beim Eintreten eines solchen unwahrscheinlichen Unfalls das geschmolzene Core auffangen kann.

# Kapitel 13
# DER ATOMSPERRVERTRAG

Im November 1969 hat die Bundesrepublik Deutschland den Atomsperrvertrag unterschrieben. Damals schien es, als bliebe in dem weltweit diskutierten Vertragswerk, das die Rechte und Pflichten der Atommächte gegenüber den kernwaffenlosen Staaten abgrenzte, eine ausreichende Freizone für friedliche Nutzung der Kernenergie.

Um so mehr überraschte die Aktivität der neuen amerikanischen Regierung Anfang 1977. Man war in den USA wohl enttäuscht angesichts der stagnierenden Verhandlungen mit der Sowjetunion über die Rüstungsbegrenzung (Salt). Der neue amerikanische Präsident macht sich mit Recht Sorgen, daß die Weltlage sich bedrohlich verändern könnte, wenn durch die Ausbreitung der friedlichen Nutzung der Kernenergie allzu viele Länder in den Besitz kerntechnischer Einrichtungen kämen. Diese Besorgnis richtet sich nicht so sehr gegen die Verbreitung von Kernreaktoren, als vielmehr gegen jenes angereicherte Uran und Plutonium, das ja bei jeder Kernkrafterzeugung – also auch bei der friedlichen Nutzung – anfällt.

Wenn sich unter den rund vierzig Nationen, die den Atomsperrvertrag nicht unterschrieben haben, auch nur einige entschlössen, Kernbrennstoffe, die ihnen nun zur Verfügung gestellt wurden, zur Fertigung von Atombomben zu verwenden, dann drohte tatsächlich das ganze Vertragswerk in sich zusammenzubrechen. Ersten Anlaß zu solcher Besorgnis gab Indien, das – als Nichtvertragspartner – im Mai 1974 eine Bombe gezündet hatte.

Einen weiteren Bezugspunkt stellte das Abkommen zwischen Brasilien und der Bundesrepublik von 1975 dar. Es umfaßt die Lieferung von acht Kernreaktoren mit einer Leistung von je 1300 Megawatt, dazu einer Anlage zur Anreicherung von Uran nach dem Trenndüsenverfahren (s. S. 95) und einer kleinen Versuchsanlage zur Aufarbeitung von ausgebrannten Brennelementen. Nicht nur der Umfang des Abkommens war für die Bundesrepublik interessant, sondern ebenso der Umstand, daß Brasilien über bemerkenswerte Uranvorkommen verfügt, so daß sich hier eine wichtige Versorgungsbasis erschließen könnte.

Der Abschluß des Vertrages war gegen harte Konkurrenz amerikanischer Firmen zustande gekommen. Die Brasilianer, die den Atomsperrvertrag nicht unterzeichnet haben und das auch in Zukunft nicht wollen, sind gleichwohl bereit, sich der internationalen Kontrolle zu unterziehen. Der Vertrag hat amerikanischen Regierungsstellen vorgelegen und war ausdrücklich gebilligt worden.

Die neue amerikanische Regierung stand dem deutsch-brasilianischen Abkommen sehr viel ablehnender gegenüber als die vorausgegangene. Das hat zunächst einmal mit den beiden Vertragspartnern Diskussionen ausgelöst, die inzwischen wohl bereinigt sind.

Zur gleichen Zeit kam mit dem Iran ein Vertrag über die Lieferung von zwei Kernkraftwerken vom Typ Biblis zustande, deren Montage in Bushere am Persischen Golf längst begonnen hat. Inzwischen hat auch Frankreich mit dem Iran einen sehr viel weitergehenden Vertrag abgeschlossen. Der Iran verfügt zwar über riesige Erdölvorkommen, aber man weiß längst, daß sie in zwanzig bis dreißig Jahren erschöpft sein werden.

Bei allen solchen Lieferungen kommt das Land, das den Reaktor betreibt, in den Besitz von Plutonium, sei es in den ausgebrannten Brennelementen, sei es eines Tages nach der Isolierung in der Wiederaufarbeitung.

*Ist der Sperrvertrag so noch zeitgemäß?*

Inzwischen hat sich die Weltlage erheblich verändert. Die Ölkrise von 1973 hatte das Interesse an der Kernenergie verstärkt. Länder wie Brasilien, Ägypten und Indien, die selbst kein Erdöl und keine Kohle haben, gerieten in wirtschaftliche Schwierigkeiten.

Man muß wohl darüber nachdenken, ob der Atomsperrvertrag in der jetzigen Form überhaupt noch zeitgemäß ist. Von Abrüstung ist kaum noch die Rede. Die Atommächte, insbesondere die USA und die Sowjetunion, haben in Richtung auf beiderseitige Verständigung wenig Fortschritte gemacht. Ihre ursprüngliche Bereitschaft hierzu aber ist für viele Nationen überhaupt erst die Voraussetzung für die Unterschrift unter den Atomsperrvertrag gewesen.

Andererseits zwingt der durch das Ölembargo von 1973 drastisch in Erscheinung getretene Energienotstand der Welt zu Lösungen. Weite Teile der Welt kommen ohne die Kernenergie nicht mehr aus.

Der am 1. Juli 1968 von den Signatarmächten unterzeichnete Atomsperrvertrag (Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons) nennt in seinen ersten zwei Artikeln die wichtigsten Verpflichtungen:

»Artikel 1: Jeder Kernwaffenstaat, der Vertragspartei ist, verpflichtet sich, Kernwaffen und sonstige Kernsprengkörper oder die Verfügungsgewalt darüber an niemanden unmittelbar oder mittelbar weiterzugeben und einen Nichtkernwaffenstaat weder zu unterstützen noch zu ermutigen, noch zu veranlassen, Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper herzustellen, oder sonstige zu erwerben, oder die Verfügungsgewalt darüber zu erlangen.«

»Artikel 2: Jeder Nichtkernwaffenstaat, der Vertragspartei ist, verpflichtet sich, Kernwaffen und sonstige Kernsprengkörper oder die Verfügungsgewalt darüber von niemanden unmittelbar oder mittelbar anzunehmen, Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper weder herzustellen, noch sonstige zu erwerben und keine Unterstützung zur Herstellung von Kernwaffen oder sonstigen Kernsprengkörpern zu suchen oder anzunehmen.«

In Artikel 3 verpflichten sich alle Signatarstaaten dann, keinem Nichtkernwaffenstaat Ausgangs-, vor allem spaltbares Material zu liefern, das zur Herstellung von Kernwaffen verwendet werden könnte, sofern die Verwendung dieser Stoffe für friedliche Zwecke nicht garantiert und kontrolliert wird. Diese Kontrolle soll der Internationalen Atomenergieorganisation in Wien (IAEO) übertragen werden. Wesentlich ist dabei, daß solcher Kontrolle nur Nichtkernwaffenstaaten unterworfen sein sollen, nicht aber Kernwaffenstaaten.

Nachdem von den Unterzeichnerstaaten und von 44 weiteren Nationen die Ratifizierungsdokumente hinterlegt worden waren, ist das gesamte Vertragswerk am 8. März 1970 in Kraft getreten.

### *Große Nationen stehen abseits*

Die Enttäuschung lag darin, daß viele Länder sich dem Vertragswerk nicht anschlossen. Die Atomwaffenstaaten China und Frankreich z.B. erklärten schon von vornherein, daß sie nicht beitreten würden. Auf der Seite der kernwaffenlosen Staaten ist die Unterschrift bisher von etwa hundert Nationen geleistet worden. Immer noch aber stehen vierzig Nationen abseits. Von ihnen wollen sich zumindest etwa fünfzehn der Kontrolle unterwerfen.

Zweifellos ist das, was vom Atomsperrvertrag erwartet wurde, nicht erreicht worden. Die Bedenken und die Widerstände derer, die sich daran nicht beteiligen, haben ihre Ursache in der Diskriminierung, die er mit sich bringt. Diese Diskriminierung ist inzwischen noch dadurch deutlicher geworden, daß Abkommen wie der Brasilien-Deutschland-Vertrag beanstandet werden, obwohl sie voll dem Atomsperrvertrag und den Kontrollbedürfnissen Rechnung tragen.

Die Situation ist inzwischen verwirrend genug. Es gibt nicht nur Kernwaffenstaaten und kernwaffenlose Staaten, sondern noch weitere Kategorien, nämlich Kernwaffenstaaten, die unterschrieben und nicht unterschrieben haben und kernwaffenlose Staaten, die unterschrieben und nicht unterschrieben haben. Als weitere Gruppe

kommen noch Staaten hinzu, die – ähnlich wie Brasilien und Ägypten – zwar die diskriminierenden Bedingungen nicht anerkennen und daher auch nicht unterschreiben, die aber doch bereit sind, sich den Kontrollmaßnahmen zu unterwerfen. Es wird ein Problem der zukünftigen Politik sein, diesen Sachverhalt zu entwirren.

1953 hatte Präsident Eisenhower den großzügigen Auftakt zur internationalen Zusammenarbeit im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie gegeben. Vier Genfer Atomkonferenzen haben diese Gemeinsamkeit gefestigt. Die Welt hat großen Nutzen davon gehabt. Eisenhowers Initiative ist von historischer Bedeutung gewesen.

Um so mehr mußten die Resultate in militärpolitischer Hinsicht enttäuschen. Es ist weder zu einer nuklearen Abrüstung noch zu einer Begrenzung der Atomwaffen gekommen. Immerhin war es im Zusammenhang mit dem »Atoms for peace-program« gelungen, 1956 die Internationale Atomenergieorganisation in Wien zu gründen. Deren Aufgabe sollte der Aufbau eines weltweiten Sicherheitskontrollsystems für die friedliche Nutzung werden.

### *Kalter Krieg und heißer Draht*

Die Welt war in zwei Machtblöcke aufgeteilt. Der NATO, der 1955 auch die Bundesrepublik beitrat, stand der Ostblock mit dem Warschauer Pakt gegenüber. Der kalte Krieg, der am »Eisernen Vorhang« mit der Teilung Deutschlands seinen Anfang genommen hatte, spitzte sich weiter zu. Die Sowjets demonstrierten ihre wachsende Atommacht und zündeten im Oktober 1961 die größte Atombombe, die je erprobt wurde. Vorangegangen waren die aufsehenerregenden Aufklärungsflüge der USA über dem Gebiet der Sowjetunion, die den russischen Nationalstolz aufs äußerste verletzt hatten.

Mit der Kubakrise von 1963 wurde deutlich, wie nahe die Welt am Rand einer neuen Katastrophe stand. Der »heiße« Draht Washington–Moskau, der damals installiert wurde, zeigte vollends, wie

sehr die Ordnung in der Welt künftig von diesen beiden Mächten abhängen würde.

Atombombenversuche häuften sich, die Beunruhigung wuchs rund um die Erde. Die Wissenschaftler, die seit der Genfer Konferenz weltweit zusammenarbeiteten, ermittelten, daß mit jeder Zündung die Radioaktivität in der Atmosphäre zunahm. Besonders nach den riesigen Atombombenversuchen der Sowjetunion gab es ganze Wolken radioaktiven Staubs, der aus Zerfallsprodukten nuklearer Sprengstoffe stammte. Die Zeit, da Atomrüstung geheim betrieben werden konnte, war vorbei. Verbesserte Meßtechniken machten jetzt eine regelrechte Registrierung von Atomexplosionen möglich.

Nicht zuletzt unter dem Druck der öffentlichen Meinung kam es auf Betreiben der drei Atommächte USA, UdSSR und Großbritannien im Juli 1963 zu einem Abkommen über die Einstellung der Kernwaffenversuche in der Atmosphäre. Sie sollten von nun an nur noch unter der Erde stattfinden. Nach und nach wurde dieser Vertrag von 90 Staaten unterzeichnet, darunter auch von der Bundesrepublik. Frankreich und China verweigerten ihre Unterschrift. Da diese beiden Staaten dem Vertragswerk nicht beigetreten sind, verstoßen ihre sich fortsetzenden Atombombenversuche zwar nicht gerade gegen den Vertrag. Andererseits aber schädigen sie durch die von diesen Versuchen ausgehende Radioaktivität die Atmosphäre und verletzten dadurch allgemeine Regeln des Völkerrechts. Es bleibt nun einmal dabei, daß die Strahlenbelästigung sich nicht nur über dem eigenen nationalen Territorium, sondern weltweit auswirkt (s. S. 189).

Die Vereinigten Staaten, die Sowjetunion und Großbritannien haben sich bisher an ihre Verpflichtungen gehalten. Die Bemühungen um ein generelles Verbot des Einsatzes von Atomwaffen sind freilich erfolglos geblieben. Es ist nicht einmal ein Verbot unterirdischer Sprengversuche erreicht worden. Unterdessen gehen die eigentlichen Abrüstungsverhandlungen nur mühsam weiter.

Die Völker der Erde mußten sich gleichsam mit der Situation eines atomaren Patts der Großmächte abfinden. Den militärpoliti-

schen Beurteilern der Weltlage bleibt nichts anderes übrig, als darauf zu vertrauen, daß durch dieses Patt der Frieden gesichert wird. Man geht davon aus, daß jede der beiden Supermächte nach dem ersten Schlag der Gegenseite noch zu einem Gegenschlag ausholen kann. Dies führte naturgemäß zu einer Fortsetzung des Wettrüstens. Man denkt sich neue Waffensysteme und neue strategische Pläne aus, wie man das eigene Überleben schützen kann.

Die logische Folge dieser Theorie eines Patts ist, daß die Vereinigten Staaten und die Sowjetunion versuchen, alle Entscheidungen gemeinsam in der Hand zu behalten und alle anderen Staaten von der Bestimmung über Wohl und Wehe der Menschheit auszuschließen.

Unter diesem Gesichtspunkt begannen im August 1965 die Verhandlungen vor den Vereinten Nationen. Die USA brachten ihren Entwurf zu einem »Nonproliferation-Vertrag« ein. Bald darauf legte die Sowjetunion ihren Gegenvorschlag auf den Tisch.

### *Die Bundesrepublik Deutschland als »Schwellenmacht«*

Schon im Verlauf der Vorverhandlungen wurde deutlich, daß die Sowjetunion die Entwicklung der Kerntechnik gerade in der Bundesrepublik mit großer Skepsis beobachtete. Schließlich waren hier auf diesem Gebiet Fortschritte geglückt, die als echte Konkurrenz empfunden wurden. So war Deutschland – zusammen mit Japan – zur sogenannten »Schwellenmacht« geworden. Die so bezeichneten Länder wären auch technologisch in der Lage, Kernwaffen zu entwickeln, wenn sie das tun wollten. Moskau befürchtete überdies wohl auch, daß unter Führung der USA im Westen eine multinationale Atomstreitmacht zustande kommen könnte. Der Gedanke einer atomwaffenfreien Zone in Mitteleuropa hatte sich nicht durchsetzen können.

Die Bundesrepublik Deutschland hatte sich 1954 vor der Weltöffentlichkeit verpflichtet, auf jede atomare Rüstung zu verzichten. Diese Verpflichtung ist bis heute strikt eingehalten worden und mit

eine Ursache dafür, daß sich die friedliche Nutzung der Kernenergie in Deutschland mit solchem Erfolg entwickeln konnte.

1956 war mit anderen europäischen Partnern zusammen die Euratom-Organisation gegründet worden. Dies bedeutete für Deutschland manche Einschränkung. Aber man legte Wert darauf, auch auf diesem Weg zu manifestieren, daß man auf dem Gebiet der Kernenergie in aller Offenheit mitarbeiten wollte, und daß jede militärische Betätigung ausgeschlossen war.

Die Bundesrepublik hatte zu den Sperrvertragsverhandlungen vor der UNO keinen Zutritt, da sie damals ja noch nicht Mitglied war. Sie wurde jedoch ständig von den Amerikanern informiert. Aber das Auswärtige Amt hat diese Informationen wohl für sich behalten. Da hierzulande niemand den Ehrgeiz hatte, Atomwaffen herzustellen, sind die geheimen Gespräche, die in Genf darüber geführt wurden, wenig beachtet worden.

Erst Anfang 1967 erfuhr das Präsidium des Deutschen Atomforums zum ersten Mal Einzelheiten über das, was beabsichtigt war. Die Bonner Regierung hatte Karl Wirtz zur ersten Information und Beratung hinzugezogen.

Der erste Entwurf des Atomsperrvertrages, der nun Stück für Stück herauskam, war deprimierend. Die Deutsche Atomkommission, die damals noch bestand, und das Deutsche Atomforum sowie alle anderen Wissenschaftler und Wirtschaftler, die an der friedlichen Nutzung der Kernenergie arbeiteten, waren enttäuscht zu lernen, welche Beschränkungen uns auferlegt werden sollten. Gerade hatte das dritte deutsche Atomprogramm einen vielversprechenden Anlauf markiert. Wir waren in der Lage, Kernkraftwerke bis zu einer Kapazität von 600 Megawatt zu bauen und hatten auch solide Pläne für einen vollständigen Brennstoffkreislauf.

Der deutschen Öffentlichkeit war wieder einmal bewußt geworden, daß der Krieg noch keineswegs vergessen und die Bundesrepublik Deutschland recht machtlos war. Die friedliche Nutzung der Kernenergie, auf die wir uns mit Begeisterung konzentriert hatten, schien weitgehend eingeengt zu werden.

Andererseits war von Abrüstung in dem Vertragswerk wenig die

Rede. Die Zweiteilung der Welt in Kernwaffen- und kernwaffenlose Staaten sollte zum ersten Mal völkerrechtlich festgeschrieben werden.

### *Die Frage der Kontrolle*

Was uns in Deutschland am meisten bedrückte, war die Frage der Kontrolle. Der Vertrag entschied, daß die Kernwaffenstaaten überhaupt nicht kontrolliert werden sollten. Allerdings haben Amerika und England sich später bereit erklärt, wenigstens ihre Anlagen zur friedlichen Nutzung einer Kontrolle zu unterwerfen.

Wie aber sollte solch ein industrieller Komplex überhaupt kontrolliert werden? Die Materialbewegung in den Kernreaktoren würde an sich leicht überschaubar sein, da die zu- und abgefahrenen Brennelemente registriert werden konnten. Aber die verschiedenen Stadien des Brennstoffkreislaufs unter Kontrolle zu halten, würde ohne die Bewachung eines jeden Arbeitsplatzes gar nicht möglich sein.

Die Hoechst AG hatte schon früh an der Entwicklung von Wiederaufarbeitungsverfahren gearbeitet und war auch an der Verwendung von Isotopen interessiert. Deshalb besuchte der Verfasser zusammen mit Leopold Küchler im Oktober 1967 eine kommerziell betriebene Wiederaufarbeitungsanlage der Nuclear Fuels Services in den USA. Dort war kurz vorher auf Veranlassung der UNO eine solche Kontrolle probeweise durchgespielt worden. Daran waren nicht weniger als zehn hauptamtliche Kontrolleure aus neun verschiedenen Ländern beteiligt.

Ein personeller Aufwand solchen Ausmaßes war – angesichts der vielen kerntechnischen Anlagen in der ganzen Welt – undenkbar, gar nicht zu reden von den Kosten. Man konnte leicht überschlagen, daß hierfür Tausende von Kontrolleuren notwendig wären. Bei dieser Art Kontrolle war der Industriespionage Tür und Tor geöffnet.

In dieser Zeit hatte Karl Wirtz in Karlsruhe die Idee einer instrumentierten Spaltstoff-Flußkontrolle entwickelt, die später von Wolf Häfele ausgebaut wurde. Das Wesen dieses Verfahrens bestand darin, daß die Materialbewegungen der Spaltstoffe automatisch gemessen werden konnten. Kontrollpersonal an Ort und Stelle war also nicht mehr nötig. Die Versuche führten bis 1974 zu einer brauchbaren Lösung, so daß die Deutschen einen entscheidenden Beitrag zur Bewältigung dieses grundsätzlichen Problems zu leisten vermochten.

Das hat die Gespräche mit der IAEO erleichtert. Die Entwicklung betriebsnaher Kontrollinstrumente – der »black boxes« – schritt rasch voran, so daß 1975 bei den Revisionsverhandlungen des Modellabkommens der IAEO entsprechende Vorschläge berücksichtigt werden konnten.

Eine andere schwierige, vorwiegend politische Frage war das Verhältnis des Euratom-Vertrages zu dem vorgesehenen Atomsperrvertrag. Im ersteren hatten die Signatarstaaten sich für eine besondere Rolle der Kernenergie im Hinblick auf die Belebung der Wirtschaftskraft Europas ausgesprochen. In diesem Rahmen sollten gemeinsame Sicherheitsnormen zum Schutz der Bevölkerung vor den Gefahren der Kernenergie erarbeitet werden. Andere Länder und internationale Organisationen sollten zur Zusammenarbeit eingeladen werden.

Nun enthielten sowohl der Atomsperrvertrag als auch der Euratom-Vertrag Bestimmungen über detaillierte Kontrollregelungen bezüglich des spaltbaren Materials. Deshalb stellte sich die Frage, ob der Euratom-Vertrag eine Beteiligung an dem Atomsperrvertrag überhaupt gestattete.

Immerhin hatten die Kontrollorgane von Euratom sich schon jahrelang bewährt. Als Kontrollorgan des Atomsperrvertrages war die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) vorgesehen und von ihrer Arbeitsweise hatte man bisher noch keine Vorstellung.

Die Diskussionen, zu denen es dann kam, waren von lebhaften Auseinandersetzungen zwischen Politikern, Wirtschaftlern und Wissenschaftlern gekennzeichnet. Das böse Wort von einem »zweiten Jalta« machte die Runde. Diese Auseinandersetzungen fielen in die Zeit der Großen Koalition während der Jahre 1967 bis 1969. Schon damals kamen die unterschiedlichen Auffassungen über eine künftige deutsche Außenpolitik zum Ausdruck. Der damalige Außenminister Willy Brandt hatte wohl schon seine Ideen für eine neue Außenpolitik im Auge, so daß eine einheitliche Haltung der Bundesregierung kaum zu gewärtigen war.

Immerhin suchte die Bundesregierung den Rat der sachverständigen Institutionen. Wiederholt tagte die Deutsche Atomkommission; auch das Deutsche Atomforum wurde zu Rate gezogen.

Auf diese Weise gelang es tatsächlich, wenigstens sachlich zu einheitlichen Voraussetzungen zu kommen. Offen blieb lange Zeit die Frage, wie die Bedingungen, an die ein deutscher Beitritt zum Vertragswerk geknüpft werden mußte, verwirklicht werden konnten.

Zu den Schönheitsfehlern des Vertragswerkes gehörte am Rande, daß er den kernwaffenlosen Staaten Besitz und Herstellung von nuklearen Sprengkörpern selbst für rein zivile Zwecke verbot. Solche Sprengkörper haben sich inzwischen etwa beim Bau von Wasserstraßen wie auch bei der Erschließung unterirdischer Ölquellen bewährt. Von deutscher Seite wurde auf eine Lockerung des Vertrages in diesem Punkt nicht allzu viel Wert gelegt. Andere Sorgen waren größer.

Es schien ohnedies aussichtslos, an dem Vertragstext noch einmal etwas ändern zu wollen, da die Bundesrepublik mit solchen Wünschen allein stand. Debattiert wurde schließlich nur noch, ob die Unterschrift solange hinausgezögert werden sollte, bis unsere Vorbehalte, die sich im wesentlichen auf die Kontrollen bezogen, berücksichtigt waren oder ob man jetzt mit geeigneten Vorbehalten unterschreiben sollte.

Noch ehe die Bundesregierung sich auf eine endgültige Stellungnahme festlegte, hatte im Herbst 1969 in Bonn die Regierung gewechselt. Der neue Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Hans Leussink trat an den Verfasser als den Präsidenten des Deutschen Atomforums mit der Bitte heran, vor der Bundestagsdebatte über die wissenschaftliche und wirtschaftliche Seite des gesamten Komplexes unterrichtet zu werden, und zwar unter Hinzuziehung von Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft. Ein solches Gespräch fand in Frankfurt am Main statt.

Das Verhältnis der für die Atomenergie verantwortlichen Organisationen der Deutschen Atomkommission und des Deutschen Atomforums zu der neugebildeten Regierung hatte sich schnell abgekühlt, da der Minister kurz nach seiner Ernennung zum Ausdruck gebracht hatte, daß er das Beratungswesen vollständig ändern und die Deutsche Atomkommission mit ihren Arbeitskreisen alsbald auflösen würde. Trotzdem kam es an diesem 3. November zu einer ernsthaften und erfolgreichen Unterhaltung.

Unbestritten war die große wirtschaftliche Bedeutung, die der Bundesrepublik – fern von allem militärischen Interesse – aus der Kernenergie erwachsen würde. Es stand auch fest, daß solch ein Arbeitsgebiet nur im Rahmen einer freiheitlichen Wirtschaftsordnung gedeihen konnte.

Noch einmal wurden die Bedenken, die schon früher niedergelegt waren, durchgesprochen. An der Notwendigkeit, dem Vertrag beizutreten, war nicht zu rütteln; genau wie heute waren wir damals auf die Lieferung von Natururan und von angereichertem Uran aus Amerika und anderen Ländern angewiesen, die Vertragspartner waren. Eine Entwicklung der Kernenergie außerhalb des Vertrages war also undenkbar.

Offen war jetzt nur noch, ob unsere Vorbehalte vor oder nach der Unterschrift geltend gemacht werden sollten. Es kam klar zum Ausdruck, daß man es seitens des Atomforums vorziehen würde, die Unterschrift hinauszuzögern, bis die erstrebten Zusagen vorlägen. Schließlich gab der Minister in diesem Zusammenhang deutlich zu erkennen, daß die Regierung dazu neige, nun die Stellungnahme des Bundestages einzuholen.

Dort ist dann mit schwacher Mehrheit der Koalition von SPD und FDP die Unterschrift unter den Vertrag beschlossen worden.

Der Minister brachte allerdings die in dem Frankfurter Gespräch geäußerten Bedenken zum Ausdruck. Mit der Unterschrift am 28. November 1969 veröffentlichte die Bundesregierung ein Memorandum mit den Voraussetzungen, die noch zu erfüllen waren, wenn mit einer Ratifizierung des Vertrages – die für das Wirksamwerden notwendig war – deutscherseits gerechnet werden sollte.

### *Ein erträgliches Verhandlungsergebnis?*

Darüber hinaus war zwischen der Wiener Behörde und der Euratom-Organisation ein Verifikationsabkommen mit den Bedingungen vorgesehen, unter denen nun die Euratom-Mächte kontrolliert würden.

Über den Text dieses Verifikationsabkommens, wonach die auch von der Bundesrepublik gewünschte Euratom-Kontrolle anerkannt werden sollte, gab es ab November 1971 zahlreiche Verhandlungen zwischen der IAEO und Euratom. Es wurde eine Verhandlungsdelegation der Brüsseler Kommission eingesetzt, der nur Vertreter der Nichtkernwaffenstaaten angehörten. Frankreich und England wurden ständig über die einzelnen Verhandlungsergebnisse unterrichtet. Für die europäischen Einigungsbestrebungen war es ein großer Fortschritt, daß drei weitere Staaten, nämlich Dänemark, Irland und Norwegen, Beobachter entsandten. Sie waren damals schon entschlossen, der Europäischen Gemeinschaft beizutreten.

Das Verhandlungsergebnis war erträglich. Es entsprach vor allen Dingen dem politischen Ziel der Bundesrepublik, an der Euratom-Organisation festzuhalten.

Im April 1973 unterzeichneten in Brüssel die Delegationen der jetzt sieben Nichtkernwaffenstaaten der Europäischen Gemeinschaft sowie der Generaldirektor der IAEO dieses Abkommen.

Am 10. September 1973 legte die Bundesregierung dann sowohl den Atomsperrvertrag als auch das Verifikationsabkommen dem Deutschen Bundestag zur Ratifizierung vor. Sie wurden am 20. Februar 1974 mit großer Mehrheit beschlossen.

Es gab später noch vielfach Schwierigkeiten zwischen den Ver-

tragspartnern, die sich zu dem Atomsperrvertrag äußern mußten. So ist das Verifikationsabkommen von Frankreich erst 1977 ratifiziert worden, Japan ist dem Atomsperrvertrag etwa zum gleichen Zeitpunkt beigetreten, nachdem auch hier eine regionale Lösung des Kontrollproblems gefunden worden war.

Summarisch und aus heutiger Sicht betrachtet darf man wohl sagen: Es hätten viele der späteren Unstimmigkeiten vermieden werden können, wäre einerseits der Vertragstext für eine Reihe von Partnern nicht so diskriminierend gewesen und hätten die Supermächte ihre Überlegenheit nicht so stark manifestiert. Die Mehrheit von 48 Stimmen, mit der der Vertrag im Juni 1968 in der UN-Vollversammlung angenommen wurde, war ohnedies nicht überwältigend. Vier Staaten stimmten mit nein. Einundzwanzig enthielten sich der Stimme, zwei waren abwesend und zwei waren wegen Zahlungsverzug nicht stimmberechtigt.

### *Kein ermutigender Saldo*

Im Sommer 1975 fand, wie im Vertrag bestimmt war, eine Revisionskonferenz aller Unterzeichner statt. Auch bei dieser Gelegenheit trat der Gegensatz zwischen den Kernwaffenstaaten und den übrigen Nationen wieder kraß in Erscheinung. Es gab bittere Kritik der Nichtkernwaffenstaaten daran, daß die beiden Supermächte ihre Verpflichtungen zur atomaren Abrüstung nicht erfüllt hatten. Das Verhalten und die Argumente der USA wie der Sowjetunion ließen erkennen, daß es ihnen nach wie vor mehr um die Erhaltung des militärischen Gleichgewichts als um Fortschritte in Abrüstungsfragen ging. Nicht einmal der Beendigung unterirdischer Kernwaffenversuche, welche die Menschheit dauernd beunruhigen, war man näher gekommen.

Bedeutung hatte die Schlußerklärung dieser Revisionskonferenz wenigstens insofern, als allen Ländern noch einmal das gleiche Recht auf friedliche Nutzung der Kernenergie bestätigt und den Mitgliedsstaaten die Versorgung mit Kernbrennstoffen und Ausrüstungsgütern, die zur Kernenergie notwendig sind, garantiert

wurde. Übrig blieb allerdings auch die zunehmende Sorge, daß immer mehr Länder in den Besitz von Kernwaffen gelangen konnten. Nach wie vor war die Zahl der Länder, die sich weigerten, dem Atomsperrvertrag beizutreten, bedenklich groß. Die Konferenz entschied deshalb, daß Kernbrennstoffe und Ausrüstungsmaterial nur dann an diese Staaten geliefert werden sollten, wenn sie sich wenigstens der Kontrolle der IAEO unterstellten.

Auch diese Konferenz machte noch einmal deutlich, daß es den USA und der Sowjetunion gar nicht sosehr auf die friedliche Kernenergie ankam, als vielmehr auf die Sicherung eines Abkommens für ihre militärische Rüstung. Beide Länder sind mit ihrem Rohstoffreichtum in einer anderen Situation. Sie können es sich daher leisten, die Energieerzeugung durch Kernkraft zögernder zu betreiben, obwohl gerade die UdSSR ihre Bemühungen intensiv fortsetzt. Grundlage für die Mitteilung des amerikanischen Präsidenten in einer Pressekonferenz im April 1977 war das Gutachten einer vom amerikanischen Kongreß eingesetzten Kommission. Die Feststellungen des Präsidenten enthielten etwa folgendes:

1. Langfristig höhere Energiekosten sind kein ernstes ökonomisches Problem, weil die Bedeutung der Energiekosten gegenüber den Produktionskosten gering ist.
2. Für langfristiges Wirtschaftswachstum ist es nicht so entscheidend, welche Energiepolitik betrieben wird.
3. Kostenvorteile des einen oder anderen Energieträgers sind kaum zur Begründung einer bestimmten Energiepolitik geeignet und ein Hinauszögern des weiteren Ausbaus der Kernenergie hat keine meßbaren wirtschaftlichen Folgen.

Beispielsweise erwägt man in den USA auch die Frage, ob man der Gefahr einer Verwendung des Plutoniums zur Herstellung von Bomben durch unbefugte Dritte nicht dadurch begegnen könne, daß man auf die Entwicklung des Schnellen Brüters überhaupt verzichtet und die in den Leichtwasserreaktoren anfallenden Brennelemente über längere Zeit aufbewahrt.

In der Sowjetunion sind die Verhältnisse wohl ähnlich. Dort aber spielt die wirtschaftliche Situation der Bündnispartner nicht die gleiche Rolle wie innerhalb der westlichen Industrieländer.

Die Überlegungen, nach denen die Amerikaner ihre Energiepolitik betreiben, sind ganz und gar andere als jene, die in der Bundesrepublik Deutschland oder für die Europäische Gemeinschaft zugrunde gelegt werden müssen. Andererseits hat sich die Lage der Länder der Euratom-Gemeinschaft inzwischen sehr erschwert.

Vielleicht ohne ausdrückliche Verabredung, zumindest jedoch in aller Stille, hat sich in der Welt ein Urankartell gebildet, das die Lieferung von Kernbrennstoff beliebig verzögern kann. Europa hat es – außer mit einer OPEC-Organisation – jetzt auch mit dem Problem der Uranversorgung zu tun. Schon vor einiger Zeit hatten Amerika und Kanada die Uranlieferung nach Europa gestoppt. Australien, das als großer Lieferant von Uran allerdings erst in einigen Jahren in Frage kommt, hatte innenpolitische Schwierigkeiten, die zu einer Unterbrechung der Verhandlungen über Uranverträge führten. Dieser weit von den eigentlichen Spannungsfeldern entfernt liegende Kontinent ist sehr reich an Rohstoffen und kann sich jede Isolierung und jede Verzögerung von Verträgen mit anderen Nationen viel Zeit kosten lassen. Zur Zeit stehen die endgültigen Entscheidungen darüber an, ob Australien überhaupt seine Uranvorkommen erschließen und angreifen soll.

Ein besonders interessantes Uranland ist auch Südafrika, das den Atomsperrvertrag ebenfalls nicht unterschrieben hat. Zwar mehren sich in letzter Zeit Verdächtigungen, nach denen dort auch Atombomben vorbereitet werden. Andererseits aber kann niemand diesem Land eine friedliche Nutzung der Kernenergie verargen. Südafrika verfügt über große Vorräte an Uran und vielen anderen Metallen. Dagegen gibt es dort kaum Erdöl und Erdgas.

Solch vielfältiges Abwägen der Möglichkeiten hier und der Gefahren dort sind sicher mit schuld daran, daß in den Industrieländern, besonders bei uns in der Bundesrepublik, der Streit um das

Für und Wider der Kernenergie so ernste Formen angenommen hat.

### *Eine Stellungnahme der Bundesregierung*

Da unser Land – vor allem seit der Zeit des Abkommens mit Brasilien – immer wieder im Mittelpunkt der Beobachtung steht, obwohl auch andere Staaten solche Verträge geschlossen haben, nahm die Bundesregierung im Sommer 1977 Gelegenheit, zur Nichtverbreitung wie zur Lieferung von sogenannten »sensitiven Anlagen« Stellung zu nehmen. Unter »sensitiven Anlagen« versteht man die Anreicherungsverfahren sowie die Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen. In der Stellungnahme heißt es:

1. »Jedes nationale Programm zur friedlichen Nutzung der Kernenergie muß von den spezifischen Gegebenheiten des betreffenden Landes ausgehen. Die Bundesregierung vertritt hierbei die Auffassung, daß sich die nationalen Kernenergieprogramme in Übereinstimmung mit dem Nichtverbreitungsvertrag befinden müssen. Das von der Bundesregierung entwickelte Kernenergieprogramm und ihre Nichtverbreitungspolitik entsprechen diesen Erfordernissen.
2. Die Bundesregierung setzt sich daher dafür ein, möglichst viele Länder, insbesondere auch die Schwellenländer der Dritten Welt, in einen internationalen Konsultationsrahmen miteinzubeziehen, um die mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie zusammenhängenden Fragen einer wirksamen Nichtverbreitungspolitik eingehend zu prüfen und diese Nichtverbreitungspolitik fortzuentwickeln.
3. Ziel dieser Konsultation sollte es sein, die Weiterentwicklung von Vereinbarungen zu fördern, die multinational, nicht diskriminierend und allgemein verbindlich die Nichtverbreitung noch wirksamer gewährleisten. Die Bundesregierung mißt hierbei der Erarbeitung umfassender internationaler Kontrollmaßnahmen eine vorrangige Bedeutung bei.
4. Eine Nichtverbreitungspolitik muß, um wirksam und erfolgreich

zu sein, von der Zustimmung der größtmöglichen Zahl von Mitgliedern der Völkergemeinschaft getragen werden.«

Diesem Standpunkt ist kaum etwas hinzuzufügen. Es bleibt nur zu hoffen, daß die innerdeutschen Spannungen es gestatten, an dieser klaren Atompolitik festzuhalten.

Inzwischen haben Frankreich und Deutschland sich auf den Beschluß geeinigt, solche sensitiven Anlagen vorerst nicht mehr zu liefern. Bestehende Verträge werden selbstverständlich erfüllt.

### *Die »Londoner Gruppe«*

Im internationalen Raum ist es schon im Juni 1975 zu geheimen Gesprächen der sogenannten Londoner Gruppe der Industrieländer gekommen. Sie haben eine Abstimmung des Verhaltens bei nuklearen Lieferungen und der Weitergabe nuklearer Technologie an andere Länder zum Gegenstand. Zu dieser Gruppe gehörten ursprünglich Amerika, Kanada, Frankreich, England, die Sowjetunion, Japan und die Bundesrepublik. Später sind Schweden, Italien, Belgien, die Niederlande, die DDR, Polen und die Tschechoslowakei hinzugekommen. Es ist erfreulich zu sehen, daß zum ersten Mal ein Kreis gebildet worden ist, der nicht nur aus Atommächten besteht und die Problematik also nicht allein unter militärischen Gesichtspunkten sieht.

Von dieser Gruppe wird eine Liste – »Triggerlist« – aufgestellt, in der alle Objekte aufgeführt sind, die ohne gewisse Zusagen einer Unterwerfung unter die Kontrollen nicht geliefert werden dürfen.

Wie schwierig und gefährlich für eine friedliche Verständigung die jetzige Situation ist, wurde gelegentlich der Iran-Conference on Transfer of Nuclear Technology in Persepolis im April 1977 offenbar. Die verschiedenen Äußerungen des amerikanischen Präsidenten zur Kernenergiepolitik sind in dieser internationalen Runde sehr kritisch, man muß wohl sagen, negativ beurteilt worden. Unter den Kritikern waren vor allem die Entwicklungsländer, die vom Technologietransfer so sehr abhängig sind. Die überwiegende Reaktion auf die vorgesehene Änderung der US-Kernenergiepolitik

waren Bestürzung und Ablehnung. Selbst anwesende Vertreter der amerikanischen Industrie und anderer US-Institutionen haben sich mehr oder weniger deutlich dieser Reaktion angeschlossen.

Allgemein kam schließlich zum Ausdruck, daß für viele Länder die Kernenergie die einzige echte Alternative ihrer Energieversorgung ist und daß sie auf den Zugang zu dieser Energie angewiesen sind. Eine Diskriminierung, wie sie jetzt noch einmal zum Ausdruck kommt, lehnten die Vertreter aller Nationen ab.

Die Diskussion um die Kernenergie ist mit der politischen Entwicklung der letzten Jahre – besonders seit dem Inkrafttreten des Atomsperrvertrages – in eine kritische Situation geraten. Längst ist jedoch entschieden, daß Atomrüstung und friedliche Nutzung der Kernenergie keine Alternativen mehr sind, zwischen denen die Völker der Erde nach eigenem Ermessen wählen könnten.

Längst ist entschieden und aller Welt verständlich geworden, daß es kein Entweder–Oder gibt zwischen dem militärischen Einsatz und dem Recht zur friedlichen Nutzung.

Die weitere Gestaltung und Handhabung des Atomsperrvertrages wird sich dieser Erkenntnis nicht verschließen können. Die Kernenergie und ihre Nutzung ist für die Menschen zu einer Lebensfrage geworden.

# Kapitel 14
# EINZIGER AUSWEG KERNENERGIE

Als im September 1973 noch vor der vom Yom-Kippur-Krieg ausgelösten Ölkrise die Bundesregierung einen Energieplan für die Zeit bis 1985 vorlegte, fiel sofort auf, daß der Kernenergie eine bedeutsame Rolle zugewiesen wurde.

Der äußere Anlaß für die Aufstellung solcher Pläne war die allgemeine Wirtschaftskrise, die in der Bundesrepublik Deutschland zum ersten Mal den nachhaltigen Wirtschaftsaufschwung zum Stillstand gebracht hatte. Das war in der Bundesrepublik Deutschland, wo man unter Erhard jeder Wirtschaftsplanung ängstlich aus dem Weg gehen konnte und damit viele Jahre lang gute Erfahrung gemacht hatte, ein viel beachteter Schritt.

Erstmalig im Jahre 1964 hatte der Deutsche Bundestag eine Planung über den allgemeinen Wirtschaftsverlauf beschlossen. Jedes Jahr sollten fünf Sachverständige ein Wirtschaftsgutachten über die konjunkturelle Lage und die Entwicklung für die mittelbare Zukunft erstellen.

Natürlich können solche theoretischen Voraussagen kurzfristig eintretende Einflüsse nicht berücksichtigen. Dies mußte auch für das Energieprogramm gelten. Die Kritik der Öffentlichkeit verstärkte sich jedoch, als die Prognosen für einen steigenden Energieverbrauch nicht unmittelbar in Erfüllung gingen, weil die Ölkrise und die mit ihr verbundene Preispolitik Einflüsse auf die Weltwirtschaft ausübten, die nicht vorhersehbar waren.

Auch in der Vergangenheit hatte aber die Energiepolitik großen

Einfluß nicht nur auf die wirtschaftliche Entwicklung, sondern auch auf die Innenpolitik. Einer der äußerlichen Anlässe für das Scheitern der Regierung Erhard im Jahre 1967 war der Streit um Förderungsmaßnahmen der Steinkohle gewesen. Jetzt war es allerhöchste Zeit, eine Bestandsaufnahme über die deutsche Energiesituation zu machen.

### *Die traditionellen Brennstoffe sind begrenzt*

Als nach dem 2. Weltkrieg das wirtschaftliche Leben in der Bundesrepublik Deutschland wieder begann, waren Stein- und Braunkohle die einzigen Energieträger, deren Förderung und pflegliche Behandlung eine der wichtigsten Voraussetzungen für den Wiederaufbau waren.

Alliiertes Besatzungsrecht hatte die gewachsene Wirtschaftsstruktur an Ruhr und Saar zerschlagen und die Kohle- und Stahlunternehmen so schnell wie überhaupt möglich als Vorstufe einer europäischen Gemeinschaft im Jahre 1951 in die Montanunion eingebracht.

Die Modernisierung der Zechen und ihre Einbringung in tragfähige große Wirtschaftseinheiten war dadurch erschwert. Auflagen als Folge der Nürnberger Prozesse forderten darüber hinaus Besitzverlagerungen aus dem Vermögen von Flick und Krupp. Außerdem gab es in den ersten Jahren Auflagen zum Export nach Frankreich und England. So kam es, daß im Jahr 1955, als die friedliche Nutzung der Kernenergie möglich wurde, in der Bundesrepublik Deutschland Mangel an Energie herrschte.

Als dieser Energiemangel, der den Aufbau der deutschen Industrie hemmte und zunächst nur durch Zukauf amerikanischer Kohle ausgeglichen werden konnte, schließlich durch das aufkommende Erdöl behoben wurde, war die Steinkohle bald nicht mehr konkurrenzfähig.

Es setzten Absatzschwierigkeiten ein, die naturgemäß auch durch die verbesserte soziale Lage und den erfreulicherweise steigenden Lebensstandard im Bergbau nicht erleichtert wurden. In den 60er

Jahren, als auch in der Bundesrepublik Deutschland zunehmend Raffinerien gebaut wurden, konnte das nicht ohne Auswirkung für den Bergbau an Ruhr und Saar bleiben. Die Bergleute, die über Jahrzehnte hinweg mit ihrer konservativen, bodenständigen Einstellung zu ihrer schweren und gefährlichen Arbeit das soziale Rückgrat gebildet hatten, sahen ihre Arbeitsplätze gefährdet.

Die alten klassischen Bergbauunternehmen bestanden nicht mehr. So wurde zwar in den 60er Jahren noch einmal eine Produktion von 140 Millionen Jahrestonnen erreicht – das war auch im Krieg die Höchstproduktion gewesen –, aber bald konnte ohne ständige Subventionen die Förderung nicht mehr aufrechterhalten werden.

Es erfolgten Stillegungen von unrentablen Zechen. Eine harte Auslese traf die Unternehmen und die Bergleute, die allerdings in der damaligen Hochkonjunktur leicht andere Arbeit fanden. Zudem traten ausländische Gastarbeiter in großer Zahl an ihre Stelle, nachdem die schwere Arbeit ihre Anziehung verloren hatte.

Schließlich wurden im Jahr 1968 die Zechen aus ihren Unternehmungen ausgegliedert und in die gemeinsame Ruhrkohle AG eingebracht. Wenn man von einigen Besonderheiten absieht, bedeutete das praktisch die Verstaatlichung, wobei die Förderung auf eine Höhe von 85–95 Millionen Jahrestonnen sank. Das war damals der einzige Weg, um die deutsche Steinkohleförderung am Leben zu halten. Inzwischen übertrifft dank einer umfassenden Modernisierung die Förderleistung je Mann und Tag an der Ruhr alle anderen vergleichbaren Gruben in Europa. Nunmehr allerdings sollte eine solche Förderhöhe, wenn nötig, durch staatliche Eingriffe sichergestellt werden, damit eine langfristige Planung ermöglicht würde.

## *Das Erdöl kommt*

Die Konkurrenz des Erdöls war in diesem Zeitpunkt nicht zu schlagen. Leider vollzog sich, wie später erst erkannt wurde, der Ausbau der Raffinerienkapazität mit viel Wildwuchs. Die Mehr-

zahl der Raffinerien, die in den darauffolgenden Jahren bis zu einem Gesamtverbrauch von 120 Millionen Jahrestonnen gebaut wurden, entsprachen schon im Zeitpunkt ihrer Errichtung nicht dem damaligen Stand der Technik. Um kurzfristig die Wirtschaftlichkeit zu erreichen, wurden reine Destillationsanlagen errichtet, in denen das Rohöl in einzelne Fraktionen von Leichtbenzin, leichtem und schwerem Heizöl getrennt werden konnte. Diese Art der Aufarbeitung entsprach zwar der Marktsituation in der Mitte der 60er Jahre in Deutschland, als der Bedarf an Autobenzin noch gering war und zunächst die Heizungen der Wohnungen von Kohle und Koks auf leichtes Heizöl umgestellt wurden und die Landwirtschaft sich mechanisierte. Schweres Heizöl wurde von der Industrie bereitwilligst anstelle von Kohle eingesetzt. Sobald diese Verhältnisse sich veränderten und außerdem das aus den verschiedensten Ländern zugelieferte Erdgas einen Teil der Heizenergie übernahm, entsprach das Energieangebot nicht mehr dem Bedarf.

In den USA werden seit vielen Jahrzehnten die Raffinerien mit hydrierenden Crackanlagen ausgestattet, in denen höhersiedende Anteile gespalten und auf niedrigsiedende Anteile umgearbeitet werden können. In solchen Raffinerien kann die Fahrweise den jeweiligen Marktverhältnissen angepaßt werden; zudem wird eine wesentlich bessere Ausnutzung des Rohöls möglich.

In Deutschland sind heute im wesentlichen nur diejenigen Raffinerien mit solchen Crackanlagen ausgestattet, die der Rohstoffversorgung der chemischen Industrie dienen. Die Chemie benötigt niedrigsiedendes, sogenanntes »Naphta« oder Spaltbenzin, um daraus ihre Ausgangsmaterialien Äthylen, Propylen etc. zu gewinnen, mit denen sie längst das Acetylen aus der Zeit der Kohlechemie ersetzt hat.

Diese einseitige technische Auslegung ist heute in der Bundesrepublik die Ursache für die schlechte Rendite der Raffinerien, die an Überfluß von schwerem Heizöl und an Mangel von Leicht- und Motorenbenzin leiden. Eine der dringlichsten Konsequenzen aus dieser Situation sollte sein, den Raffinerien durch Steuervorteile oder Finanzierungshilfen den Aufbau von Crackanlagen zu ermög-

lichen. Das wäre eine wichtige Konsequenz aus den Erkenntnissen des Energieprogramms und den Erfahrungen der letzten Jahre.

Da die meisten Raffinerien in den Händen ausländischer Erdölgesellschaften sind, hat man versucht, an einzelnen Stellen den deutschen Einfluß zu verstärken. Zu diesen Bemühungen gehört der vom Staat durchgeführte Zusammenschluß von Veba und Gelsenberg, das in der Blütezeit der Kohle einmal die größte deutsche Bergwerksgesellschaft war. Diese Fusion, die im Jahre 1974 viel Aufsehen erregte und hohen Aufwand erforderte, hat leider eine wirkliche Veränderung der deutschen Ölversorgung und eine bessere Verarbeitungstechnik bisher nicht bringen können. Auch hier bedürfte es einer staatlichen Hilfe, wenn man zu einer besseren Ausnutzung des Rohöls kommen will.

Ein ständig größer werdender Anteil des deutschen Energieverbrauchs wird aus dem Erdgas gedeckt, das leider in der Bundesrepublik Deutschland nur in geringen Mengen anfällt und mit einem kostspieligen Rohrnetz von weither, z. B. auch aus der Sowjetunion, zugeliefert wird.

Der einzige nationale Energielieferant, der zu konkurrenzfähigen Preisen auf lange Sicht zur Verfügung steht, ist die zwischen Aachen und Köln liegende Braunkohle. Durch die Abtrennung der DDR ist der größere Teil der viel wertvolleren mitteldeutschen Braunkohle verlorengegangen. Die Vorkommen im Raum von Köln waren, soweit sie bis Kriegsende erschlossen wurden, nahezu erschöpft. Durch neue Aufschlußverfahren erschloß man dort große neue Vorräte.

In der dichtbesiedelten, landwirtschaftlich genutzten Gegend bedurfte es einer besonders liebevollen Behandlung der Umwelt, um die Verlegung von ganzen Ortschaften und die vorübergehende Zerstörung der Landwirtschaft den Bewohnern verständlich und erträglich zu machen.

Es gelang mit großem Aufwand zunächst, die alten, seit der Jahrhundertwende angefallenen Schutthalden und leerstehenden Tagebauten in eine Kulturlandschaft mit Wäldern und Seen umzuwandeln, die heute ein wertvolles Erholungsgebiet im rheinischen

Industrierevier darstellt. Inzwischen versteht man es, den neuen Tagebau so anzulegen, daß das vorerst zerstörte Gelände unmittelbar nach Ende des Abbaus systematisch wieder hergerichtet wird, so daß nach etwa 25 Jahren das alte Landschaftsbild wieder entsteht. Soeben beginnt man im sogenannten Hambacher Forst einen neuen Tagebau dieser Art zu erschließen, der eine Förderung von ca. 100 Millionen Tonnen Braunkohle erwarten läßt.

Diese leider auch nicht unbegrenzten Vorräte sind eine der wirtschaftlichsten Energiequellen in der Bundesrepublik Deutschland und ihr Abbau inzwischen zu einem technischen Vorbild für ähnliche geologische Gegebenheiten in der Welt geworden.

Die Behandlung der beträchtlichen Umweltprobleme ist ein Beispiel dafür, wie eine verantwortungsbewußte Technik im Zusammenwirken mit einer aufgeschlossenen Bevölkerung zu Lösungen kommen kann, die den wirtschaftlichen Ansprüchen ebenso Rechnung tragen wie den Lebensbedürfnissen der Menschen.

Jedenfalls ist dort, wo in der ersten Hälfte des Jahrhunderts qualmende Kesselhäuser in einer verödeten Umgebung das Leben schwer erträglich machten, jetzt eine vernünftige Symbiose von Technik und Umwelt gefunden worden.

Die Übersicht über die Energievorräte der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1973 mußte bei nüchterner Betrachtung zu dem Ergebnis führen, daß die Kernenergie schon in naher Zukunft eingesetzt werden muß.

Dabei ist es zunächst gleichgültig, wie hoch der Zuwachs an jährlichem Energiebedarf anzusetzen ist. Jedenfalls ist zwingend, daß die begrenzten fossilen Energievorräte der Bundesrepublik Deutschland geschont werden müssen, damit sie für längere Zeit als Rohstoff für die Gaserzeugung und die Zwecke der chemischen Industrie zur Verfügung stehen.

Dasselbe Recht aber nehmen nun sehr nachdrücklich die Ölländer in Anspruch, wie es die kurz darauf einsetzende Ölkrise vor Augen führte. Und sie haben dabei nicht so ganz Unrecht, denn dort werden die Erdölvorräte in 25–30 Jahren erschöpft sein, wenn die Förderung im jetzigen Ausmaß fortgesetzt wird.

*Große Ansprüche an die Kernenergie*

Die Forderung, daß 30000–45000 Megawatt elektrischer Leistung in Gestalt von Kernenergie bis zum Jahre 1985 vorhanden sein sollen, hat die deutsche Bevölkerung zunächst einmal aufgeschreckt und mit der Vorstellung aufgeräumt, daß man unbesorgt und gedankenlos den erreichten Wohlstand weiter genießen könne.

Diejenigen, die in Wissenschaft, Wirtschaft und Staat die Voraussetzungen für die friedliche Nutzung der Kernenergie geschaffen hatten, sahen sich bestätigt und anerkannt. Vorher war jedes Programm und jede finanzielle Förderung umstritten gewesen. Jetzt setzte man die Kernenergie als unerläßlichen Wirtschaftsfaktor ein. Noch stritt man sich damals um das viele Geld – 1,2 Milliardem DM pro Jahr –, das für das 4. Atomprogramm aufgewendet werden sollte.

Schon im Jahre 1974 aber betrug der Mehrpreis für den Ölimport, den man wegen des OPEC-Diktats in der Bundesrepublik Deutschland aufwenden mußte, 16 Milliarden DM. Das entsprach ziemlich genau der Summe, die von seiten des Staates für die Förderung der Kernenergie insgesamt seit 1955 aufgewendet worden ist. Diese 16 Milliarden DM für Ölimporte belasten nun Jahr für Jahr unsere Devisenbilanz.

Im Herbst 1971 hatte die 4. Atomkonferenz in Genf noch einmal einen Überblick zur internationalen Situation gegeben. Zu dieser Zeit gehörte die Bundesrepublik Deutschland, wie bereits erwähnt, zu den sogenannten »Schwellenmächten«, d.h. zu denjenigen Staaten, welche die friedliche Nutzung der Kernenergie bis zum wirtschaftlichen Durchbruch entwickelt hatten. Der deutsche Ausstellungsstand zeigte Modelle eines Kugelhaufen-THTR-Reaktors sowie eines Fusionsreaktors, wie man sich ihn z.Z. vorstellte. Auf einem Gemeinschaftsstand mit den Beneluxländern stand das Modell des SNR-300-Schnellbrüters.

Eines der wichtigsten Konferenzergebnisse war die Erkenntnis, daß der Leichtwasserreaktor sich jetzt endgültig gegenüber allen

anderen Konstruktionen behauptet hatte. Amerikanische und bundesdeutsche Firmen bildeten die Spitzengruppe. Schlüsselfertige Anlagen wurden angeboten.

Die Siedewasserreaktoren Würgassen und Stade standen vor der Fertigstellung; mit einer Leistung von ca. 650 Megawatt repräsentierten sie die damals übliche Größe.

Der Druckwasserreaktor Biblis A mit ca. 1250 Megawatt befand sich im Bau. Als Biblis 1974 ohne Schwierigkeiten in Betrieb kam, war es wohl das größte Kernkraftwerk und ist auch heute noch das Modell für die derzeit in Angriff genommene Bauperiode in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Diskussionen, soweit sie den Leichtwasserreaktor betrafen, gingen jetzt um Fragen der Sicherheit und der behördlichen Genehmigungen. In den USA hatten die Schwierigkeiten beim Bau von Kernenergieanlagen durch den Widerstand einzelner Bevölkerungsgruppen schon längst begonnen.

Überraschend kam die Nachricht der Gulf General Atomic (USA) kurz vor Beginn der Konferenz, daß nun mit ihrem Hochtemperatur-Graphitreaktor der Durchbruch erreicht worden sei. Mehrere Großobjekte mit Leistungen von ca. 1100 Megawatt wurden beschlossen. Man stützte sich auf die bevorstehende Inbetriebnahme eines Prototyps in Fort St. Vrain mit einer Leistung von 330 Megawatt. Dieser Reaktor ist dann allerdings niemals störungsfrei in Betrieb gekommen. Die Großaufträge wurden annulliert. Die Entwicklung dieses Typs wurde in den USA nicht weitergeführt.

Die Deutschen waren angesichts dieser sensationellen Meldung zunächst enttäuscht. Glücklicherweise wurde wegen der guten Erfahrungen mit dem kleinen Kugelhaufenreaktor AVR in Jülich der Bau des Prototyps in Schmehausen, wenn auch mit Verzögerung, fortgesetzt.

Ein Schwerpunkt der Diskussion war der Schnelle Brüter. Damals, 1971, bestand unter den Konferenzteilnehmern kein Zweifel darüber, daß diese Entwicklung zwangsläufig der Familie der Leichtwasserreaktoren folgen müsse.

Im Rahmen der Diskussionen über den Brennstoffkreislauf ging

es um die Urananreicherung, wobei der Einsatz der Zentrifuge sich als zweckmäßig abzeichnete. Zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen war man sich einig geworden, daß nur wäßrige Verfahren mit organischen Extraktionsmitteln – das Purexverfahren, wie es auch die Deutschen verwendeten – in Betracht kam (s. S. 172).

Als es 1973 dann darum ging, 20–30 Kernkraftwerke im Serienbau zu errichten, mußte erst erlernt werden, wie man aus der Entwicklungsphase mit einer so neuartigen Materie in eine industrielle Fertigung und einen regelmäßigen Betrieb gelangen konnte.

### *Die Politik macht Schwierigkeiten*

Die Ausgangslage in der Bundesrepublik war dafür zu diesem Zeitpunkt nicht sehr günstig. Die Regierungsübernahme durch die sozial-liberale Koalition hatte grundlegende Änderungen im Bildungswesen und in der Forschungsbetreuung eingeleitet, wovon in den Jahren 1969 bis 1973 auch die Kernenergie betroffen wurde. Nach nochmaligem Ressort- und Personenwechsel gab es jetzt schließlich ein Ministerium für Forschung und Technologie, dessen Leitung seit 1973 Hans Matthöfer inne hat. Für die Fragen der Sicherheit und der Genehmigungsverfahren war das Innenministerium zuständig geworden.

Diese Zweiteilung der Gewalten wäre im Grunde genommen vernünftig gewesen, wenn es sich um einen erprobten Industriezweig gehandelt hätte. Bei der Kernenergie war dagegen alles noch im Entstehen. Anhand der wenigen Prototypen mußten Sicherheitsvorschriften und Betriebsregeln entwickelt werden, die erst allmählich heranreiften. Das alles geschah vor der Öffentlichkeit, die teils besorgt, teils mißtrauisch und feindselig beobachtete, daß nun etwas in vielfältiger Ausführung entstehen sollte, von dem gleichzeitig zu hören war, daß es noch ständiger wissenschaftlicher Betreuung bedurfte.

In der Bundesrepublik Deutschland hatte sich die Elektrotechnik mit großen Geldmitteln an der Entwicklung beteiligt und dabei un-

ter Zuhilfenahme von Lizenzen aus den USA eine selbständige Reaktorindustrie entwickelt. Siemens und AEG hatten sich auf dem Kernenergiegebiet inzwischen zur Kraftwerksunion (KWU) zusammengeschlossen, in der nun Siedewasser- und Druckwasserreaktoren gebaut werden konnten. Die AEG ist aus diesem Gemeinschaftsunternehmen inzwischen ausgeschieden. Die Firma BBC (Brown, Boveri & Cie.) arbeitet mit Babcock & Wilcox zusammen. Außerdem bieten amerikanische Firmen in Konkurrenz an. Damit sind in der Bundesrepublik Deutschland die technischen Voraussetzungen für den Serienbau von Leichtwasserreaktoren geschaffen.

Inzwischen sind bis Mitte 1977 elf Reaktoren mit einer Leistung von 10000 Megawatt in Betrieb, neun weitere sind im Bau mit einer Leistung von ca. 12000 Megawatt und fünf weitere mit ca. 6000 Megawatt befinden sich im Stadium der Genehmigungsverfahren. Somit könnte mit Fertigstellung dieser Reaktoren eine Leistung von 27000 Megawatt entstehen.

Dazu gehört aber die Zulieferung der erforderlichen Menge von Natururan, das in ausländischen Anlagen angereichert werden muß, solange die eigene mit Holland und England beabsichtigte Anreicherungsanlage noch über keine ausreichende Kapazität verfügt. Zur Sicherung dieser Lieferungen sind Verträge abgeschlossen oder in Verhandlung. Es ist zu hoffen, daß nicht immer wieder unter irgendeinem – meist politischen – Vorwand Verzögerungen auftreten.

Für die Herstellung von Brennelementen steht in der Bundesrepublik Deutschland eine ausreichende Kapazität zur Verfügung. Es bleibt das Problem der Wiederaufarbeitung, der Gewinnung des Plutoniums aus den ausgebrannten Brennelementen und die Endlagerung der Spaltprodukte (s. S. 165). Hier wurde in der Bundesrepublik Deutschland viel Zeit verloren. Die Atommächte andererseits hatten ein verständliches Interesse daran, das Plutonium der Atombombenfabrikation zuzuführen. Sie forcierten deswegen das Reprocessing. Wenn heute Frankreich und England, mit denen auf diesem Gebiet eine Zusammenarbeit besteht, Aufarbeitungskapa-

zität anbieten, so darf nicht übersehen werden, daß sie die Spaltprodukte zurückliefern und deren Endlagerung dem Zulieferer überlassen.

Über das Problem der Entsorgung bestehen in der Bundesrepublik gut fundierte Pläne, die jetzt realisiert werden müssen.

Der neuerliche Vorschlag der USA, alle ausgebrannten Brennelemente nach dort zu transportieren und 15–20 Jahre zu lagern, scheint kaum durchführbar.

So schien, als das Programm 1973 zustande kam, die Realisierung gut vorbereitet. In den USA entstanden in der gleichen Zeit ca. 100 Kernreaktoren, an denen sich umfangreiche Erfahrungen sammeln ließen. Lange Zeit war der 1974 in Betrieb genommene Siedewasserreaktor Biblis A in Deutschland der einzige Prototyp dieser Art. Als er bei einem programmäßigen Stillstand konstruktive Mängel aufwies, die ohne jede Schädigung der Umwelt erkannt und behoben wurden, gab es dennoch kritische Diskussionen in der Öffentlichkeit. Das galt auch für alle die Unfälle und Betriebsstörungen (s. S. 118), die nicht schwerwiegender waren als die Vorfälle, die leider in den Fabrikationsstätten einer hochentwickelten Industriegesellschaft nicht gänzlich zu vermeiden sind.

Aber hier bei der Kernenergie sah das alles anders aus. Es lastet auf ihr die Sorge vor der Gefahr eines atombombenähnlichen Ereignisses. Tatsächlich ist bisher bei der friedlichen Nutzung niemals ein größerer Schaden durch Radioaktivität eingetreten. In 2000 Betriebsjahren von 100 Reaktoren ist kein Mensch durch die eigentliche Kernenergie tödlich verunglückt.

Es ist ein großer Erfolg der Technik in der Bundesrepublik Deutschland, daß in so kurzer Zeit ein so vollendetes Sicherheitssystem entwickelt werden konnte. Dieses Sicherheitssystem zu schaffen, in Vorschriften festzulegen und zu überwachen, ist eine Leistung, die der Tradition der deutschen Gewerbeordnung entsprach. Nicht einsame Behördenbeschlüsse, sondern vertrauensvolle Zusammenarbeit der Techniker in Betrieb und Exekutive sind die Voraussetzung für eine zuverlässige Gewerbeordnung.

Im Falle der Kernenergie war eine übergeordnete Verantwortung

durch das Atomgesetz der Bundesregierung und hier wiederum dem Bundesinnenministerium übertragen, das aber über keinerlei Erfahrung auf diesem Gebiet gewerblicher Überwachung verfügt und die praktische Durchführung den Ländern übergab. Die Reaktorsicherheitskommission stand jetzt dem Innenminister zur Seite; ihre Geschäftsführung liegt bei dem neugegründeten Reaktorsicherheitsinstitut. Diese Reaktorsicherheitskommission besteht aus hervorragenden Fachleuten; sie hat aber keine ausübende Funktion, die wiederum den Ministerialbeamten übertragen ist.

In den Bereich des Bundesinnenministers fällt aber zugleich auch der Umweltschutz, der in den letzten Jahren großen Einfluß auf das industrielle und technische Geschehen ausübt.

### *Die Wohlstandsgesellschaft*

Es war zweifelsohne notwendig, daß nach einer stürmischen Periode des Wiederaufbaus und der Auslösung eines überraschenden Wirtschaftswachstums eine Periode der Selbstbesinnung auf menschliche Werte erfolgte. In der ganzen Welt vereinigten sich solche Bedürfnisse mit einer gewissen Müdigkeit und einem wachsenden Überdruß an allen Bemühungen für den technischen Fortschritt. Überall entstanden Bewegungen, die eine menschliche Umwelt zum Ziel haben und hier auch wichtige Erfolge aufweisen können.

In der Bundesrepublik Deutschland waren die Probleme besonders akut geworden. Der Wiederaufbau unserer Städte, der Bau von vielen Millionen Wohnungen für die durch den Flüchtlingsstrom aus dem Osten stark angewachsene Bevölkerung, das alles war ohne generelle Planung erfolgt.

Nun fehlte es an allen Voraussetzungen, die eine an Wohlstand sich gewöhnende Gesellschaft plötzlich forderte. Mit Recht wandte man sich gegen die Unerträglichkeit des Lärms und die Verunreinigung der Luft, Beeinträchtigungen, die nicht nur von Industrieanlagen, sondern ebenso und in weit stärkerem Maße vom privaten Bereich ausgehen. Es konnte vorausgesehen werden, daß es hierbei zu

Spannungen kommen mußte zwischen dem Streben nach weiterem Wohlstand, nach höherer Kaufkraft und der Forderung nach »Lebensqualität«.

Mit der Gesetzgebung zum Umweltschutz erhielten die Bundesministerien, die Länderministerien, aber auch die Gemeinden eine Handhabe, mit der sie eine sehr weitgehende bürokratische Kontrolle über alle technischen Fortentwicklungen ausüben konnten.

Die Kernenergie bot einen besonderen Anreiz, sich in dieser Hinsicht zu betätigen, zumal hier neben berechtigter Vorsicht auch Emotionen wirksam werden konnten. Deswegen konzentriert sich auch ein großer Teil der Aufmerksamkeit auf die Begleitumstände der Kernenergie, die nun im großen Stil ausgebaut werden soll.

Vom Standpunkt des Schutzes der Umwelt sind die Kernreaktoren besser als alle Fabrikationsbetriebe. Gegenüber den Kohle- und Ölkraftwerken haben sie den Vorteil, daß sie keinerlei Rauch erzeugen und weder Kohlenoxid noch $CO_2$ oder $SO_2$ ausstoßen.

Die radioaktive Strahlung, die sie an die Atmosphäre abgeben, liegt weit unter der Belastung durch die natürliche Höhenstrahlung und ist außerordentlich genau zu kontrollieren (s. S. 196). Vielleicht liegen Sorge und Abneigung gegen die Kernkraftwerke gerade darin, daß diese ohne jedes sichtbare Zeichen von Tätigkeit und Materialbewegung in der Landschaft stehen und doch eine größere Energiemenge erzeugen als irgendein traditionelles Kraftwerk.

### *Standortprobleme*

Andererseits aber stellen die jetzigen Leichtwasserreaktoren an den Standort besondere Anforderungen. Ihr thermischer Wirkungsgrad ist wegen der niedrigen Dampftemperatur noch schlechter als derjenige der traditionellen Kraftwerke. Da sie andererseits aus wirtschaftlichen Gründen eine besonders hohe Leistung haben, ist die Abwärme, die sie ausstoßen, besonders groß. Es gibt in der Bundesrepublik Deutschland nicht genügend Standorte, wo ausreichende Mengen an kühlem Flußwasser zur Verfügung stehen, um solche großen Wärmemengen aufzunehmen. Allzu große Tempera-

turerhöhungen aber sind unerwünscht, weil die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser zurückgeht und das Leben der Fische beeinträchtigt wird.

Das Kühlwasser der Kernkraftwerke muß also vielerorts mit Luft- oder Rieselkühlern gekühlt werden, bevor es in die Flüsse abgegeben wird. Dabei aber muß wiederum berücksichtigt werden, daß das verdampfte Wasser keine unerwünschte Nebenwirkung hervorruft. Hierin liegt das einzige und wirkliche Standortproblem der heutigen Leichtwasserreaktoren. Es müssen Standorte gesucht werden mit einer relativ niedrigen Luftfeuchtigkeit und möglichst hoher Windgeschwindigkeit. Dazu bedarf es einer ehrlichen Auseinandersetzung mit der Öffentlichkeit. Oft sind die riesigen Rückkühlwerke, die als stumme Zeugen der Technik bis zu 175 m und mehr in die Höhe ragen, abstoßender als alles andere (s. Bild 9 auf S. 115).

Aus den Kreisen der Wirtschaft ist sehr frühzeitig daran erinnert worden, daß der Staat gemeinsam mit Ländern und Gemeinden solche Standortermittlungen in weiter Voraussicht durchführen sollte, damit nicht in jedem Einzelfall zeitraubende und unerfreuliche Auseinandersetzungen entstehen. Im Zusammenhang mit den Streitigkeiten in Whyl ist eine solche Standortfestlegung inzwischen im Land Baden-Württemberg erfolgt.

Eine auf lange Sicht erfolgte Standortplanung, die dann durch eine endgültige gesetzliche Entscheidung festgelegt ist und nicht durch örtliche Gerichte von Fall zu Fall plötzlich wieder aufgehoben werden kann, würde die Autorität des Staates festigen. Wenn eine ausreichende sachliche Vorbereitung auf lange Sicht, nicht für einzelne Fälle, sondern für einen größeren Bereich, gesetzlich und als Landesplan parlamentarisch abgesichert wäre, dann könnte eine unsachliche und oft ferngesteuerte politische Kritik notwendige Investitionen nicht so sehr verzögern oder gar verhindern.

Solche langfristigen Planungen für Standortentscheidungen auch für andere Objekte sind ein dringendes Gebot unserer Zeit, in der in unserer dichtbesiedelten Bundesrepublik kaum noch endgültige Beschlüsse ohne langwierige Gerichtsentscheidungen möglich sind.

Viele Einrichtungen, die von großem Nutzen sein können und für die Wirtschaftsordnung von Bedeutung und für die Bedürfnisse unserer Gesellschaft nötig sind, können heute wegen der Widerstände einzelner oder auch von Bevölkerungsgruppen nicht gebaut werden. Hierzu gehören neben chemischen Betrieben und Kraftwerken auch Abwasserkläranlagen und Mülldeponien, Autobahnen und Umgehungsstraßen. Zur Zeit sind in Deutschland Milliarden von D-Mark blockiert und verschlingen tagaus, tagein Zinsen, weil halbfertige Projekte wegen Einsprüchen nicht vollendet werden können.

Dieses Problem kann und soll in einer demokratischen Gesellschaftsordnung nicht durch bürokratische Entscheidungen einseitig gegen die Interessen der betroffenen Bürger gelöst werden. Die Schwierigkeiten liegen in der Unklarheit gesetzlicher Bestimmungen und der daraus resultierenden Plan- und Ratlosigkeit.

Die Umweltschutzgesetzgebung ist z.B. mit der sogenannten Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft so abgefaßt, daß viele erwünschte Betriebsstätten, insbesondere auch Kohlekraftwerke, nur mit Ausnahmegenehmigungen errichtet werden können, weil die Vorschriften die technischen Möglichkeiten überfordern. Solche Ausnahmegenehmigungen können durch gerichtliche Entscheidungen außer Kraft gesetzt werden, an die sich langwierige Rechtsmittelverfahren anschließen.

In unserer industriellen Welt müssen sehr oft technische Projekte errichtet werden, die großen Einfluß auf ihre Umgebung haben und dort das Leben der Menschen beeinflussen. Es wäre ein großer Fortschritt, wenn der Bevölkerung langfristig bekannt wäre, an welchen Stellen bestimmte Einrichtungen vorgesehen sind und wo dies andererseits wegen des Wohlbefindens der Menschen nicht erfolgen soll. Wenn solche Entscheidungen langfristig unter Anhörung der Betroffenen auf demokratischem Wege getroffen sind, würde die Autorität des Staates gewinnen, da nun nicht mehr in jedem Einzelfall aus privatem Interesse Wichtiges verhindert werden kann.

Bei solchen Überlegungen muß von der Voraussetzung ausge-

gangen werden, daß die beabsichtigten Einrichtungen den Sicherheitsvorschriften genügen und nach sachverständigem Urteil die Umgebung nicht gefährden. Einen Unterschied zwischen dicht und schwach besiedelten Gebieten sollte es bezüglich der Sicherheit nicht geben. Die errichteten Anlagen müssen nach dem Stand der Technik und nach bestem Wissen und Gewissen sicher sein, zumal in der Bundesrepublik die Unterschiede in der Besiedlungsdichte und die Entfernungen gering sind.

Es hat dem Ruf der Kernenergie sehr geschadet, als vor einigen Jahren für zwei Kernreaktoren in einem dichten Siedlungsgebiet strengere Anforderungen an die Sicherheit gestellt wurden, als beim Bau in einem Gebiet geringerer Bevölkerungsdichte. Das Leben von 100000 Menschen in einem Landkreis ist ebenso wichtig wie das Leben von 1 Million Menschen in einer Stadtregion.

Bei der jetzigen Trennung der Verantwortung zwischen Bund, Land und Gemeinden ist die Entscheidung sehr schwierig. Es können auch nicht, wie zuweilen vorgeschlagen wird, Einzelentscheidungen, z. B. für ein Kernkraftwerk, vom Parlament gefällt werden. Die Parlamente sollten allgemeine Richtlinien durch Gesetze festlegen, nach denen dann die Exekutive entscheiden kann und muß. Solche gesetzlichen Richtlinien aber müssen dem möglichen Stand der Technik entsprechen und dürfen keine Unklarheiten und Zielvorstellungen enthalten, die z.Z. technisch gar nicht erreichbar sind.

### *Die schwierigen Genehmigungsverfahren*

In ständigem Gedankenaustausch zwischen dem Bundesinnenministerium und seiner Reaktorsicherheitskommission einerseits und den auf Landesebene tätigen Technischen Überwachungsvereinen (TÜV) sind Kriterien für die Sicherheit von Kernreaktoren entstanden, die allmählich zu einem zuverlässigen Regelwerk zusammenflossen, das sich auf viele Erfahrungen und Erkenntnisse im nationalen und internationalen Raum stützen kann. Ein wohldurchdachtes Genehmigungsverfahren sorgt dafür, daß für jeden

Standort und für jedes einzelne Projekt Unterlagen erarbeitet wurden, die dem neuesten Stand der Technik entsprachen. Vor der ersten Teilerrichtungsgenehmigung, d.h. vor dem Baubeginn, wird ein öffentlicher Erörterungstermin abgehalten, bei dem alle Einwände behandelt werden. Erst nach Behandlung sämtlicher Einsprüche, auch der unbegründeten, kann die Landesregierung die erste Teilerrichtungsgenehmigung geben. Alle Genehmigungen werden öffentlich ausgelegt und enthalten alle Auflagen, die von der Reaktorsicherheitskommission und den Behörden als nötig angesehen werden.

Der ersten Teilerrichtungsgenehmigung folgen in zeitlichem Abstand einzelne weitere Genehmigungen bis zur endgültigen Betriebsgenehmigung. Dieses Verfahren bedeutet, daß der Baufortschritt laufend überwacht wird. Die behördliche Aufsicht endet auch nicht, wenn das Kraftwerk in Betrieb ist.

Die bisherige Praxis der Genehmigungsverfahren hat zu unerfreulichen Verzögerungen geführt, welche den Bau von Kernkraftwerken und die Entwicklung der Kerntechnik überhaupt stark behindern. Andererseits muß darauf geachtet werden, daß keine unzulässige Vereinfachung oder Verharmlosung des Problems eintritt. Zweifellos aber ist es nicht erforderlich, daß ein Verfahren bis zur ersten Teilgenehmigung mehr als ein Jahr in Anspruch nimmt.

Inzwischen ist auf Initiative des Deutschen Atomforums ein »Kerntechnischer Ausschuß« geschaffen worden, der sich aus Vertretern aller Institutionen zusammensetzt, die am Genehmigungsverfahren beteiligt sind. Dieser Ausschuß hat schon erreicht, daß die Anforderung an die Sicherheit der Standorte und die Konstruktion der Kernreaktoren allmählich vereinheitlicht werden. Nur auf diese Weise ist es überhaupt möglich, 10–20 Reaktoren in angemessener Zeit zu errichten und dabei alle Erkenntnisse zu verwerten, die sich aus den Erfahrungen ergeben.

Seit 1973 veröffentlicht die Reaktorsicherheitskommission fortlaufend alle Unfälle und Störungen, die sich in Kernkraftwerken ereignen. Die Öffentlichkeit erkennt daraus, was wirklich vorgeht. Die Hersteller und Betreiber sind verpflichtet, jedwede Geheimnis-

tuerei abzulegen und ihre Probleme in aller Offenheit zu diskutieren.

Dieses Berichtswesen, das immer noch verbessert werden kann, verleiht unserer Kernindustrie den Eindruck einer sehr zuverlässigen Arbeitsweise. Andererseits zeigen die vielen oft geringfügigen Betriebsstörungen, daß noch viel Lehrgeld bezahlt werden muß. Der Betrieb eines Kernkraftwerkes heutiger Bauart stellt an den Betreiber und an die Bedienungsmannschaft sehr viel höhere Ansprüche, als sie bei einem normalen traditionellen Kraftwerk erforderlich sind.

Es reicht nicht mehr aus, daß ein Kraftwerksauftrag möglichst kostengünstig vergeben und das Kraftwerk dann ordnungsgemäß nach gewohnten Regeln betrieben wird. Ein Kernkraftwerk ist eine komplizierte, hochentwickelte Apparatur, die sowohl an den Errichter als auch an den Betreiber große Anforderungen stellt.

Alle diese Sicherheitsüberlegungen und Vorschriften wirken sich auf die Investitionskosten aus, die in den letzten fünf Jahren erheblich gestiegen sind. In der gleichen Zeit aber sind die Kosten für die Heizölkraftwerke sehr viel weniger gestiegen. Man muß wohl damit rechnen, daß diese Entwicklung noch eine Weile so weitergeht, nämlich in dem Maße, wie neue Erkenntnisse über den Bedarf an Sicherheitsmaßnahmen gewonnen werden. Eine endgültige Kostenrechnung wird man erst aufstellen können, wenn die Entwicklung der Leichtwasserreaktoren einen gewissen Endzustand erreicht hat. Die Brennstoffkosten für das Uran und seine Anreicherung sind teils aus politischen, teils auch aus reinen Wettbewerbsgründen im Fluß. Auch die aus der Wiederaufarbeitung anfallenden Kosten mit Endlagerung und Plutoniumgutschrift sind solange noch fließend, wie über privatwirtschaftliche Anlagen mit ausreichender Betriebsgröße noch keine Erfahrungen vorliegen.

Bei den Kernkraftwerken sind die Investitionskosten mit etwa 1 Milliarde DM pro Megawatt bei einer Benutzungsdauer von 6000 Stunden im Jahr zur Zeit ca. dreimal so hoch wie bei einem traditionellen Kraftwerk und machen etwa 67 % der endgültigen Stromkosten aus. Bei traditionellen Kraftwerken liegt dieser Anteil nur bei

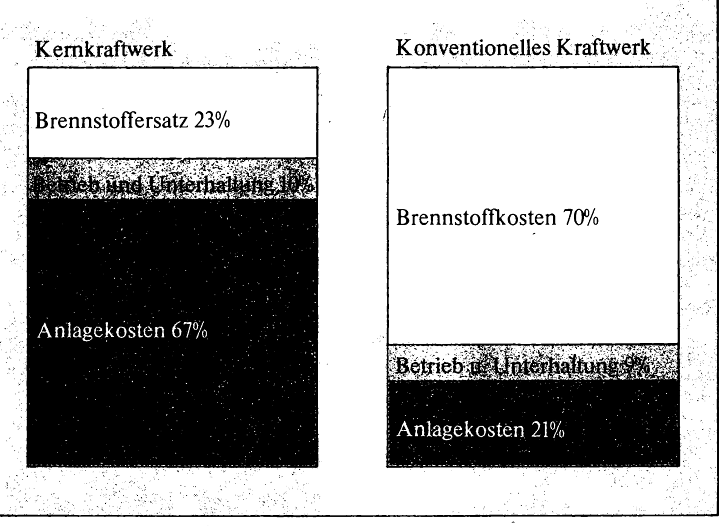



Bild 17 Vergleich der Stromkosten von konventionellem und Kernkraftwerk

ca. 21% (Bild 17). Daraus folgt, daß Stillstände bei Kernkraftwerken besonders ins Gewicht fallen.

Der Betreiber muß den periodischen, für die Überholung erforderlichen Pausen außerdem durch Reservehaltung Rechnung tragen. Möglicherweise sind diese Ausfallzeiten bei Kernkraftwerken größer. Andererseits können die Brennstoffkosten anteilig für ein Kernkraftwerk bedeutend niedriger angesetzt werden. Man erkennt aus Bild 17, wie sich jede Erhöhung des Kohle- oder Ölpreises auf die Stromkosten wesentlich stärker auswirkt als die Kosten für den Kernbrennstoff. Hinzu kommt, daß bei den traditionellen Kraftwerken die Auflagen für den Umweltschutz ständig höher werden. Die Anforderungen an Entstaubung und Entschwefelung von Rauchgas, wie sie heute verlangt werden, erfordern große Geldmittel und Betriebskosten. Nach dem jetzigen Stand kann damit gerechnet werden, daß die Stromerzeugungskosten bei einem Kernkraftwerk des Typs Biblis etwa um 2–3 Pfennige, d.h. ca. 20–30 Prozent niedriger sind als bei einem traditionellen Kraftwerk.

Bei der Gegenüberstellung solcher Kosten muß aber auch berücksichtigt werden, daß der Preis des Erdöls auf kurze wie auf lange Sicht gar nicht übersehbar ist. Er wird um so höher ausfallen, je weniger die Industriestaaten sich auf Auswegmöglichkeiten einrichten.

# Kapitel 15
# DIE ENTWICKLUNG IST NICHT ABGESCHLOSSEN

Die Sorge um das Erdöl wird vor allem in den Industrieländern in absehbarer Zeit nicht abklingen. Neben oberflächlichem und allzu durchsichtigem Optimismus gibt es viele seriöse Bemühungen, die Problematik mit ernsten wirtschaftlichen und technischen Mitteln zu lösen.

Das Vorhaben, nachhaltig Energie zu sparen, wird auf seine Wirksamkeit noch untersucht werden müssen. Die verwöhnte Industriegesellschaft hat den drohenden Notstand des Jahres 1973 schnell vergessen. Die amerikanischen Autos fahren zwar langsam, aber sie verbrauchen soviel Benzin wie eh und je, und die deutschen Autofahrer fahren so schnell, wie irgendwie erlaubt ist, obwohl doch jeder – Behörden und Autofahrer – weiß, daß nicht nur die Gefahr, sondern erst recht der Benzinverbrauch mit der Geschwindigkeit zunimmt. Die Sparabsichten des einzelnen werden wirkungslos bleiben, solange nicht allgemeine Vorschriften über den Bau von Autos, die Isolierung von Bauten, das Einbauen unnützer Klimatisierungen, die Abschaffung von Lärm der Baumaschinen und Motorräder und vieles andere durch unsere demokratischen Institutionen und gesetzlichen Vorschriften geregelt wird.

Etwas anders ist es schon in der Industrie, vor allen Dingen in der Chemie, wo die starke Verteuerung der Energiekosten Maßnahmen erzwingt, die durchaus auch recht rentabel sein können. Hier haben Umweltschutz und Energieverteuerung manche technische Entwicklung ausgelöst, die dem Fortschritt dient. Es gibt auch

jetzt noch viele Möglichkeiten, deren Lösung allerdings Kostenbewußtsein und zuweilen hohe Investitionen erfordert. Wenn hier der Bogen überspannt wird und schließlich die Vorteile der ausländischen Konkurrenz überwiegen, besteht allerdings die Gefahr des Verlustes von Arbeitsplätzen.

Andererseits gibt es auch Probleme, die man merkwürdigerweise nicht lösen kann. Daß es z. B. nicht gelingt, die Unmengen von Altpapier, die in unseren modernen Haushaltungen anfallen, systematisch einer neuen Verwendung zuzuführen, ist schwer verständlich. Ähnlich ist es mit der Wiederverwendung von Glasflaschen. Das gleiche gilt für viele andere Dinge, die wir heute dem sogenannten »Sperrmüll« übergeben, obwohl viele von uns noch wissen, wie wertvoll sie in Zeiten des Mangels waren.

Das Energieprogramm des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, in dem auch die Kernenergie enthalten ist, stellt ein mutiges Unterfangen dar. Es ist so wie mit den Verbesserungsvorschlägen in einem Unternehmen. Es ist gut, wenn alle Beteiligten mitdenken. Bestimmt kommt dabei auch etwas heraus.

Das Energieprogramm der Bundesregierung enthält viele Zielprojekte, die von der besseren Nutzung der Abwärme über die sogenannten »neuen Energien« bis zur besseren Verwertung der Kohle hin zu den anstehenden Problemen der Kernenergie und der Fusion reichen.

Ob es auch richtig ist, diejenigen Organisationen und Wissenschaftler zu fördern, die von vornherein erklären, daß sie grundsätzlich gegen jeden technischen Fortschritt sind, ist eine Frage des Ermessens. Bevor man entscheidet, ob ein Objekt mit größerem wirtschaftlichen Aufwand realisiert werden soll, muß aber ein sachverständiges Gremium entscheiden, wie es viele Jahre lang in der Deutschen Atomkommission geschah und im Bereich der Wissenschaft heute noch in der Deutschen Forschungsgemeinschaft geschieht.

Andererseits aber sollte mit Ideen und Forschungsvorhaben nicht zu bürokratisch umgegangen werden. Oft schon sind von Außenseitern ungewöhnliche, aber nützliche Vorschläge gekom-

men. Und oft stimmen die Theorien nicht, wie das die überraschende Entdeckung der Kernspaltung von Hahn und Strassmann gezeigt hat.

Ein hoffnungsvolles Arbeitsgebiet liegt zweifellos in der zielstrebigen Nutzung der Wärme und zugleich auch in den Versuchen, die Abwärme besser zu nutzen. Mit dem Kühlwasser der Kraftwerke und vor allen Dingen der Leichtwasserreaktoren läßt sich vielerlei tun. Es mit Rohrleitungen zu Siedlungen und mancherlei Geschäftsgebäuden zu führen und zur Heizung zu verwenden, ist ein altes, aber immer wieder akutes Problem. Hier muß allein die Wirtschaftlichkeit entscheiden, ob sich die Investitionen für die Rohrleitungssysteme, die dazu nötig sind, rentieren. Ebenso ist es mit der Wärmepumpe, die unter Einsatz von kinetischer Energie gegebene Temperaturdifferenzen nutzt. Das historische Beispiel ist hier die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, wo man seit Jahrzehnten mit dem kalten Wasser der Limat Gebäude heizt.

Vielfältig sind die Möglichkeiten im industriellen Bereich, wo schon der Zwang zur Rationalisierung manche Anregungen gibt. Z. B. konnte man die Energiekosten für die Herstellung des Niederdruck-Polyäthylens, eines vielbenutzten Kunststoffes, in zehn Jahren auf ein Sechstel senken. Ein beträchtlicher Teil der aus der Verteuerung des Erdöls resultierenden Kostensteigerung konnte dadurch ausgeglichen werden.

Entscheidend wäre natürlich ein besserer Wirkungsgrad der Kraftwerke. Hier setzt die Theorie gewisse Grenzen und doch eröffnet die Forschung immer wieder neue Wege. Das klassische Beispiel war der Dieselmotor, der sich heute auch bei Personenwagen einführt und den Wirkungsgrad des Ottomotors von 28 auf 38% anhebt. Auch hier gibt es Ideen, die auf vollständig neuen physikalischen Überlegungen beruhen.

Bei dem Magneto-Hydrodynamischen Verfahren wird ein heißer Gasstrom durch das Feld eines supraleitenden Magneten geschickt. Durch das starke Magnetfeld werden die positiven und die negativen Ionen räumlich voneinander getrennt und so eine elektrische Spannung erzeugt. Bei Stromschluß entsteht dann unmittelbar

elektrische Energie. Das Verfahren wird von der Sowjetunion und den USA gemeinsam bearbeitet. Es wird berichtet, daß in den USA jetzt eine Versuchsanlage für eine Leistung von zehn Megawatt errichtet wird. In der Bundesrepublik Deutschland sind diese Arbeiten anscheinend eingestellt worden.

Auch die Renaissance der alten Wärmequellen der Menschheit: Wind, Sonne, Gezeiten (s. S. 27) sollte man nicht belächeln. Vor kurzem wurde darüber berichtet, daß die Sowjetunion in der Karakum-Wüste ein 100-Megawatt-Sonnenkraftwerk errichtet, von dessen Wirtschaftlichkeit viel erwartet wird. Allerdings scheint in Turkmenien die Sonne durchschnittlich an 240 Tagen im Jahr und die normalen Energiekosten sind dort möglicherweise besonders hoch. In Deutschland wird die Sonnenenergie das Problem der Energieversorgung schwerlich wirtschaftlich lösen können. Es sei denn, daß die allgemeinen Energiekosten wegen unzureichender Vorsorge erheblich steigen. Aber auch hier sollten in speziellen Fällen Anwendungen gefunden werden. In anderen Teilen der Welt wird es kaum anders sein. Wir sollten unseren hohen Stand an Wissenschaft und Technik einsetzen, um solche Probleme, welche zur Zeit noch die technischen Grundlagen in vielen Ländern übersteigen, einer Lösung zuzuführen, die wir dann als Exportprodukt einsetzen können.

Das gilt vor allen Dingen für die Nutzung der Steinkohle. Die reichen Erfahrungen über die Verwertung der Kohle sind seit Kriegsende weitgehend der Vergessenheit anheimgefallen. In der Autarkiezeit zwischen den beiden Weltkriegen entstanden in Deutschland wertvolle technische Prozesse, welche die Welt damals bewunderte, wenn sie auch, gemessen am internationalen Standard der Weltwirtschaft, zu teuer waren. Die Verflüssigung der Kohle durch Hydrierung war schon in den 20er Jahren Gegenstand eines umfangreichen Vertragswerks zwischen der damaligen I. G. Farbenindustrie und der amerikanischen Esso. Die deutsche Entwicklung dieses Verfahrens führte dazu, daß gegen Ende des 2. Weltkrieges ca. 4 Millionen jato Benzin durch Hydrierung von Braun- und Steinkohle gewonnen werden konnten. Der amerikani-

sche Vertragspartner gewann aus dieser Zusammenarbeit wichtige Erkenntnisse, die dann bei der crackenden Hydrierung des Erdöls und der Erdölrückstände genutzt wurden.

Der andere Weg zum Benzin aus Kohle ging in Deutschland über die Fischer-Tropsch-Synthese, die immerhin ca. eine halbe Million jato Benzin lieferte, darüber hinaus aber den Ausgangspunkt für viele interessante Synthesen auf der Grundlage von Wassergas ($CO + H_2$) wurde.

Beide Wege haben inzwischen insbesondere in den Vereinigten Staaten, neuerdings aber auch in der Bundesrepublik Deutschland, wieder Interesse geweckt. Insbesondere in den USA sind große Vorkommen von Stein- und Braunkohle vorhanden, deren Verwendung nach neuen Methoden jetzt von Chemie- und Erdölunternehmungen in Arbeit genommen worden ist. In Südafrika wird eine Kapazität von ca. 1,5 Millionen Tonnen Benzin nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren errichtet, da dort zwar kein Erdöl, aber große Mengen billiger Steinkohle vorhanden sind.

In der Bundesrepublik Deutschland wird es kaum möglich sein, flüssige Kohlenwasserstoffe auf Basis einheimischer Kohle wirtschaftlich zu erzeugen. Selbst wenn der Preis der Kohle nicht um ein Vielfaches höher wäre als in vielen anderen Ländern, sollten die deutschen Steinkohlen- und Braunkohlenvorräte anderen Zwekken, insbesondere der Chemie, vorbehalten bleiben.

Erst recht aber sollten wir uns in der Bundesrepublik Deutschland um die Technologie dieser Verfahren bemühen, die einmal ausschließlich die unserige war und andererseits nach dem heutigen Stand unseres Wissens wesentlich verbessert werden kann. Immerhin sind mehr als 30 Jahre vergangen, seitdem in Deutschland ernstlich daran gearbeitet worden ist.

Inzwischen gibt es neue interessante Ansätze. Die deutsche Lurgi-Gesellschaft z. B. verkauft ihr Druckvergasungsverfahren erfolgreich in die USA und andere Länder. Bei der Ruhrchemie, Oberhausen, wird ebenfalls an interessanten Vergasungsverfahren gearbeitet. Nicht aussichtslos sind auch die Bemühungen, durch Abwandlung der Fischer-Tropsch-Synthese niedermolekulare, un-

gesättigte Kohlenwasserstoffe wie Äthylen ($CH_2 = CH_2$) und Propylen ($CH_3 \cdot CH = CH_2$) und andere herzustellen.

Im Rahmen der Entwicklung der Kernenergie hat die Kohlechemie einen interessanten neuen Aspekt gewonnen. Im Kernforschungszentrum Jülich werden die Arbeiten am Hochtemperaturreaktor (HTR) fortgesetzt (s. S. 127). Dort führt Helium als Kühlmittel die Wärme des Reaktors ab, und zwar bei Ausgangstemperaturen von 900° C und mehr. Generell soll diese Wärme in Gasturbinen in elektrische Energie umwandelt werden, wobei man einen recht günstigen Wirkungsgrad erreicht. Besonders interessant aber ist hier die Nutzung der hohen Temperatur für Vergasungsprozesse und andere wärmeverbrauchende Reaktionen, die in dem Temperaturbereich zwischen 1000 und 600°C ablaufen.

Die Verfügbarkeit von Abwärme mit sehr hohen Temperaturen verleiht dem Hochtemperaturreaktor viele Vorteile. Es ist bedauerlich, daß seine Weiterentwicklung z. Z. sowohl in der Bundesrepublik Deutschland als auch in den Vereinigten Staaten wenig Interesse findet.

Der Prototyp mit 300 Megawatt Leistung in Schmehausen wie auch die Experimente für die dazugehörige Gasturbine werden zwar weiterverfolgt, wenn auch mit großer Verzögerung.

Das nur bescheidene Interesse der Elektroindustrie und der Elektrizitätswirtschaft reicht nicht aus zur Weiterentwicklung eines weiteren Prototyps, der etwa eine Leistung von 1000 Megawatt haben müßte. Eine solche Konstruktion müßte längst in Auftrag gegeben worden sein, wenn man noch mit der ursprünglichen Begeisterung am Werk wäre. Die Industrie allein ist dazu wirtschaftlich kaum in der Lage. Der Staat sollte nicht allzu früh seine schützende Hand von diesen wertvollen Arbeiten zurückziehen. Hier bei dem Hochtemperaturreaktor und den Möglichkeiten der Nutzung seiner hohen Abwärme handelt es sich um ein kostbares Arbeitsgebiet, das der deutschen Volkswirtschaft große Werte bringen kann. Es liegt überdies eine Pionierarbeit vor, die für die Bundesrepublik Deutschland spezifisch ist und bei der sie an der Spitze liegt. In Ver-

bindung mit der deutschen Steinkohle, die mit Recht so große Aufmerksamkeit und Förderung erfährt, ist mit der Kernenergie eine Chance herangereift, die genutzt werden sollte.

Über allen diesen Ideen und Forschungsthemen aber sollte nicht vergessen werden, daß die Kernenergie selbst und ihre Nutzung noch keine abgeschlossene Sache sind. Mit den Leichtwasserreaktoren und dem für sie erforderlichen Brennstoffkreislauf stehen die Menschen erst am Anfang einer Entwicklung. Die Leichtwasserreaktoren mit ihrer niedrigen Dampftemperatur haben nicht nur eine schlechte Wärmeökonomie, sondern sie nutzen auch den kostbaren Kernbrennstoff, das U 235, schlecht aus.

Sie erzeugen zwar aus Uran 238 etwas Plutonium, lassen aber den größeren Teil desselben ungenutzt. Die Menschen würden nach 30–40 Jahren den gesamten auf der Erde befindlichen Uranvorrat verbraucht haben. Mit dem Thoriumbrüten in dem soeben erwähnten Hochtemperaturreaktor kann man zwar die Nutzungszeit der heutigen Kerntechnik nochmals verdoppeln. Aber auch das reicht nicht, wenn wir die Energiesituation auf der Welt für lange Zeit im Interesse unserer Nachkommen in Ordnung halten wollen.

Im Mittelpunkt der Diskussion, soweit sie überhaupt sachlich geführt wird, steht z.Z. wieder einmal der Schnelle Brüter (s. S. 141). Soeben sind in den Industriestaaten die ersten Schritte getan worden, um diese neue Reaktorfamilie ins Leben zu rufen. Durch Rückführung des Plutoniums in einen mit schnellen Neutronen arbeitenden Reaktor wird das Uran 238 in Pu 239 verwandelt, so daß eine um ein Vielfaches bessere Nutzung erzielt werden kann. Einige wenige Prototypen sind im Bau. In Frankreich und der Sowjetunion liegen schon erste Betriebserfahrungen vor.

Die Sorgen und Argumente bezüglich der Wirtschaftlichkeit sind hier zunächst gegenstandslos. Wir kennen auch nicht den Öl- bzw. Strompreis in etwa 20 Jahren. Solange aber wird es dauern, bis der Schnelle Brüter in größeren Serien erstellt werden kann. Der Energiepreis, den wir dann bezahlen müssen, wird um so höher sein, je weniger wir die Kernenergie und das Brüten fördern. Jedenfalls sollte kein finanzielles Opfer zu groß sein, um diesen Weg zu eröff-

nen, ohne den die Kernenergie in nächster Zeit letzten Endes kaum sinnvoll ist.

Die Bedenken, die von ernsthaften Gegnern gegen die Sicherheit geäußert werden, müssen mit allen Mitteln von Wissenschaft und Technik im praktischen Betrieb mit aller Vorsicht bereinigt werden, bevor man an den Serienbau herangehen kann. Für den jetzt in Kalkar in der Bundesrepublik Deutschland im Bau befindlichen SNR 300 sind alle nur denkbaren Sicherheitsvorkehrungen vorgesehen. Es wäre wünschenswert, wenn man in internationaler offener Zusammenarbeit letzte Unsicherheiten und Unklarheiten bezüglich des besten Kühlmittels bald beantworten könnte. Erst dann wird man über den wirklichen, im Schnellen Brüter erzielbaren Ernergiepreis endgültig etwas wissen und in eine Serienfabrikation eintreten können.

Leider sind in den Vereinigten Staaten von oberster Stelle Bedenken aus ganz anderen Beweggründen gegen den Schnellen Brüter geäußert worden. Man hat dort Befürchtungen wegen des Umgangs mit Plutonium, das als Bombenmaterial den Schlüssel zum militärischen Einsatz der Kernenergie liefert. Aber in den Vereinigten Staaten sieht das alles ganz anders aus als in der Bundesrepublik Deutschland. Dort glaubt man, die Plutoniumtechnologie einige Jahrzehnte zurückstellen zu können, indem man die ausgebrannten Brennelemente, in denen das Plutonium anfällt, längere Zeit aufbewahrt. Schon diese Aufbewahrung ist nicht ohne Probleme und in einem dichtbesiedelten Gebiet wie Deutschland nur mit großer Vorsicht möglich. Andererseits aber läßt sich bei gutem Willen in der Wiederaufarbeitung (s. S. 165) das Plutonium ungetrennt und in Mischung mit dem Uran gewinnen, so daß ein für Bomben geeignetes Material gar nicht vorliegt. Selbstverständlich kann aber eine fremde Macht, die auf den militärischen Einsatz hinaus will, diese Möglichkeit umgehen.

Ganz anders aber sind die Bedürfnisse in den Ländern, welche an unmittelbarer Energieknappheit leiden und zugleich auch keine Uranvorkommen im eigenen Land haben. Ihnen kann man das Mittel des Brütens mit Plutonium nicht vorenthalten. Diese Länder,

zu denen auch die Bundesrepublik Deutschland gehört, stehen nicht nur einem Erdölkartell gegenüber, das die Preise dauernd nach oben reguliert, sondern sie müssen auch erleben, daß das Natururan ständig teurer wird und auch nur unter politischen Auflagen geliefert wird.

Generell kann der wissenschaftliche und technische Fortschritt nicht denjenigen vorenthalten werden, die ihn dringend brauchen. Schon gar nicht mit Argumenten, welche nur Reichen und Übermächtigen genehm sind.

Da die Bundesrepublik Deutschland zu den Ländern gehört, die weder nennenswert über Erdöl noch über Uran verfügen, sollten wir die Nutzung der Kernbrennstoffe weiter fortentwickeln, zumal wir auch hier mit dem hohen Stand unserer wissenschaftlichen Erkenntnisse zur endgültigen Lösung viel beitragen können. Wir können das in der Bundesrepublik Deutschland mit besonders gutem Gewissen tun, da wir auf diesem Weg das zwangsläufig anfallende Plutonium auf schnellstem Weg umsetzen wollen und damit einer mißbräuchlichen Verwendung vorbeugen.

Es ist auch schwer einzusehen, daß das Plutonium, das bei den Atommächten für einen militärischen Einsatz gelagert ist, für die Mehrheit der Menschen weniger gefährlich sei als die Mengen, die bei der friedlichen Nutzung zwangsläufig entstehen und wiederum baldmöglichst der friedlichen Verwendung zugeführt werden können. Soweit sichtbar, gibt es in Zukunft keinen anderen Weg als den Einsatz des Schnellen Brüters und des Plutoniums. Dabei stellt die breitgefächerte internationale Zusammenarbeit einen erfreulichen Schutz gegen Fehlentwicklungen, aber auch gegen unzulängliche Sicherheitsmaßnahmen dar.

Der letzte Schritt zu einer nahezu unerschöpflichen Kernenergiequelle liegt in der Verwirklichung der Kernfusion (s. S. 153). Aber davon sind wir noch weit entfernt. Die Kernfusion ist letzten Endes eine Reproduktion der Sonnenenergie mit irdischen Mitteln, welche die Menschen z. Z. nur als grausame Vernichtungswaffe bereithalten, deren friedliche Nutzung sich aber bisher nur andeutungsweise erraten läßt.

Die deutschen Physiker haben diese Möglichkeiten der Kernfusion viel skeptischer eingeschätzt als viele ihrer internationalen Freunde, die schon Ende der 50er Jahre der Meinung waren, einer Lösung nahe zu sein. Gerade die deutschen Naturwissenschaftler, die inzwischen wichtige Erkenntnisse beigetragen haben, sollten im Rahmen der nationalen und internationalen Energieprogramme einen ihrer Leistung entsprechenden Platz einnehmen.

Auch in diesem Fall wollen wir nicht allzu viel Hoffnung auf fremde Hilfe und Unterstützung setzen. Erfreulicherweise hat sich die Europäische Gemeinschaft über den Standort des neuen Großprojektes endlich geeinigt, nämlich für Culham in Südengland. Wenn damit auch die deutschen Vorstellungen vom Standort Garching nicht verwirklicht wurden, müssen auch wir begrüßen, daß die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten weitergehen können und Europa wieder einmal eine große Chance wahrnehmen kann.

Das deutsche Energieprogramm ist ein unteilbares Ganzes, in dem es noch die eine oder andere Lücke geben mag. Es ist das glückliche Resultat einer vernünftigen Forschungspolitik, daß die Bundesrepublik Deutschland zu allen maßgeblichen und offenstehenden Fragen gewichtige Beiträge leisten kann. Dieses Energieprogramm sollte als unteilbares Ganzes betrachtet und behandelt werden, wobei jeder Vorschlag, auch derjenige der Sparsamkeit und der Verwendung anderer Energiequellen, seinen Platz darin hat. Gerade diese weitgespannte Behandlung eines lebenswichtigen Problems müßte schließlich den letzten Gegner und Skeptiker überzeugen können.

Die Geldmittel in Höhe von ca. 1,5 Milliarden DM im Jahr, die wir jetzt für dieses Energieprogramm ausgeben, stellen weniger als ein Prozent des Haushaltsetats der Bundesregierung dar und sollten als Wechsel auf die Zukunft die Zustimmung aller finden, die sich für das Gedeihen der gesamten Volkswirtschaft verantwortlich fühlen.

# Kapitel 16
# DIE BLEIBENDE VERANTWORTUNG

Im Sommer 1977 verkündete Präsident Carter, daß die USA eine neue Atomwaffe – die Neutronenbombe – entwickelt haben, die wegen ihrer besonderen Eigenschaften für die konventionelle Kriegführung in begrenzten Räumen geeignet ist und deswegen einen totalen atomaren Einsatz vielleicht vermeidbar macht. Die Weltöffentlichkeit wurde wieder einmal daran erinnert, daß unbeschadet aller lokalen Kriege und Unruheherde, über die laufend berichtet wird, das Gespenst der atomaren Vernichtung immer noch über ihr schwebt. An der Vervollkommnung der atomaren Waffen wird offensichtlich mit großem Eifer gearbeitet. Man darf wohl annehmen, daß das auch in der Sowjetunion und bei den anderen Atommächten geschieht.

In mühsamen Verhandlungen feilschen die beiden Weltmächte um Dinge, die denjenigen, die nur Objekt dieser Politik der Großen sind, vielfach unverständlich, wenn nicht belanglos erscheinen, weil sie doch nichts dazu sagen können.

Im Grunde genommen verlassen wir uns darauf, daß eine Atombombe vielleicht niemals mehr abgeworfen wird, nachdem ihre schreckliche Wirkung seit Hiroshima und Nagasaki bekannt ist. Wir stützen uns mit dieser Hoffnung auf Erfahrungen aus dem 2. Weltkrieg. Damals ging es um den Einsatz von Gaskampfstoffen, deren grausame Wirkung im 1. Weltkrieg zur Genüge erkannt worden war, und die nun in weit schlimmerer Form zur Verfügung standen. Sie kamen aber im 2. Weltkrieg niemals zum Einsatz. Ob es daran

lag, daß die Beschlüsse des Genfer Protokolls von 1925 ihren Einsatz verboten, wissen wir nicht. Für den Einsatz von Atomwaffen in einem zukünftigen Krieg gibt es solche Vereinbarungen nicht. Ob sie eingehalten würden, wenn sie bestünden, ist ohnehin eine andere Frage.

Das Problem hat aber auch eine andere Seite. Im Sommer 1977 berichteten die Zeitungen darüber, daß in Australien ein sechsjähriger Junge eine Klage gegen den Staat eingereicht hat mit der Begründung, daß die australische Regierung mit der Ausbeutung der nationalen Rohstoffvorkommen leichtfertig umgehe und dadurch die Zukunft der jungen australischen Generation gefährde. Diese Information mag wahr oder falsch sein. Sie kennzeichnet dennoch zutreffend die Situation in vielen Rohstoffländern der Erde, wo man sich Gedanken über die eigene Zukunft macht und nach Wegen sucht, den natürlichen Reichtum so teuer wie möglich, sei es gegen industrielle oder landwirtschaftliche Erzeugnisse, einzutauschen.

In unserer Welt herrscht eine merkwürdige Bewußtseinsspaltung. Auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Atom- oder Kernenergie besteht eine weltweite internationale Zusammenarbeit, die durch vielfältige Verträge zwischen den Völkern geregelt ist. An den Schnellen Brütern, an der Kernfusion, an Weltraumproblemen und vielem anderen wird mit großer Einigkeit auf hohem wissenschaftlichen Niveau zusammengearbeitet. Andererseits aber gibt es hinter verschlossenen Türen eine andere Forschung, die allein die Zerstörung und die Kriegführung zum Ziel hat, aber doch mit der friedlichen Forschung die wissenschaftlichen Fundamente teilt.

Die Bundesrepublik Deutschland ist militärisch gesehen ein bescheidener Partner in einer Bündniskonstruktion, die an diesen Bemühungen im atomaren Bereich nicht beteiligt ist. Andererseits aber ist sie ein Wirtschaftsfaktor, der im internationalen Spiel der Kräfte eine bedeutende Rolle spielt. Diese Position gründet sich auf eine hohe wissenschaftliche und technische Leistung sowie auf eine soziale Ordnung, die eine erfolgreiche Wirtschaftsentwicklung er-

möglicht, von vielen Nationen mit Achtung, vielfach auch mit Mißgunst beobachtet.

Deshalb ist die Bundesrepublik Deutschland in der Welt nicht überall beliebt. Sie ist aber ein geachteter Partner vor allem für jene Völker, die von ihr wissenschaftliche und technische Hilfe erwarten können. Die Bundesrepublik Deutschland wächst mit anderen Ländern in eine große Gemeinschaft hinein, welche den militärischen Überlegungen der Kernenergie fernsteht und in einer solchen friedlichen Gemeinschaft einen Weg sieht, Wirtschaftsprobleme zu lösen. Diese Gemeinschaft wird ständig größer und könnte zu dem Optimismus berechtigen, eines Tages ein Übergewicht moralischer und wirtschaftlicher Art über diejenigen zu gewinnen, die sich eine militärische Macht vorbehalten wollen.

Selbstverständlich ist es nicht nur die Frage der Kernenergie, die zu solchen Hoffnungen Anlaß gibt. Es ist mehr noch die Erkenntnis, daß das Schicksal eines Landes nicht nur von seinem militärischen Potential abhängt, sondern vielmehr von sicheren Fundamenten einer gesunden Volkswirtschaft, die über die erforderlichen technisch-wissenschaftlichen Grundlagen verfügt.

Die Bundesrepublik Deutschland kann das Defizit, das sie bei ihrer Rohstoffversorgung hat, nur ausgleichen, indem sie mit wissenschaftlichem und technischem Erfolg ein interessanter Partner der übrigen Welt ist und bleibt.

Um so unverständlicher ist es, daß gerade in der Bundesrepublik Deutschland die Ermüdungserscheinungen in diesem Bereich so stark sind. Unsere Universitäten verzehren sich im Kampf um den Vorrang von Lehre und Forschung und in Differenzen zwischen Studenten und Professoren. Es wird oft übersehen, daß alles, was dort geschieht, auf einem gemeinsamen Fundament des Verständnisses für Bildung und Kultur basiert. Dieses Einvernehmen muß erworben und gefördert werden, wenn die Gesellschaft ihren jeweiligen Lebensstandard aufrechterhalten und weiterentwickeln will. Geben und Nehmen von Schülern und Lehrern bedingen sich gegenseitig.

Der gegenwärtige Mangel an Verständigungsbereitschaft, an

Sachverstand und Urteilsvermögen ist auch die Ursache für den Streit um den Einsatz der Kernenergie. In den Vereinigten Staaten von Amerika hat man in einigen Staaten, beginnend in Kalifornien, Volksabstimmungen durchgeführt und sich dabei mit überwältigender Mehrheit für die Kernenergie entschieden. Wie hätte es auch anders sein sollen, nachdem in den USA ein gewaltiges Waffenarsenal zur militärischen Verwendung zur Verfügung steht, mit dessen Existenz die Bevölkerung sich längst abgefunden hat? In der Bundesrepublik Deutschland artete die Antipathie gegen die friedliche Nutzung der Kernenergie an Wochenenden schon zur Gewaltanwendung an den vorgesehenen Baustellen für Kernkraftwerke aus. Neuerdings schalten sich sogar deutsche Atomgegner in Auseinandersetzungen in Frankreich ein, wo der Widerstand in der Öffentlichkeit bei weitem nicht so groß ist. Ziel der Angriffe ist nicht allein die Kernenergie; sie richten sich darüber hinaus allgemein gegen die Interessen unseres Staates, gegen seine demokratischen Grundlagen und sein Fortbestehen.

Auffällig ist, daß bei den Diskussionen um die Kernenergie unabhängig von den technisch-wissenschaftlichen Kenntnissen und unabhängig von der beruflichen Vorbildung, ob Landwirt, Student, Industriearbeiter oder Theologe, Geistes- oder Naturwissenschaftler, sich viele sachverständig äußern zu können glauben und dabei in überraschender Gemeinsamkeit stets zu negativen Beurteilungen gelangen. Jeder fühlt sich berufen, zur Kernenergie Stellung zu nehmen und ist aus ganz unterschiedlichen Gründen dagegen.

Bei den Auseinandersetzungen um die Kernenergie geht es letzten Endes um zwei Fragestellungen:

1. Ist die Sicherheit genügend gewährleistet, die wir benötigen, um mit der Kernenergie leben zu können?
   und
2. Benötigt die deutsche Volkswirtschaft die Entwicklung der Kernenergie und ihre Nutzung?

Nach den in der Bundesrepublik Deutschland bestehenden Erfahrungen ist die Kernenergie in der Form, wie sie bei uns betrieben wird, so sicher wie jede andere technische Einrichtung.

Die Vorschriften über den Strahlenschutz und die Sicherheitsmaßnahmen gegen technische Störungen haben bisher Schädigungen beim Betriebspersonal und jede Beeinträchtigung der Bevölkerung verhindert und schließen Gefahren nach menschlichem Ermessen auch für die Zukunft aus.

Bisherige vereinzelte Unglücksfälle in kerntechnischen Anlagen betrafen nicht den nuklearen Teil und hätten sich auch in jedem konventionellen Kraftwerk in gleicher Form ereignen können. Deshalb ist auch die Umgebung niemals betroffen worden. Auch bei allen Prototypanlagen, wie beispielsweise den Schnellen Brütern, wird mit gleicher Sorgfalt verfahren wie bisher. Kompromisse auf Kosten der Sicherheit hat es niemals gegeben und darf es niemals geben.

Dabei muß aber bedacht werden, daß die Sicherheit kein Zustand ist, der durch naturwissenschaftliche und technische Daten endgültig definiert ist. Sicherheit entsteht dadurch, daß diejenigen, die technische Anlagen errichten und betreiben, nach bestem Wissen und Gewissen handeln und die Vorschriften, in denen die Erfahrungen niedergelegt sind, sorgfältig einhalten. Jede neue Erkenntnis, die gewonnen wird, muß schnellstens in vernünftigen Vorschriften berücksichtigt werden. Solche neuen Erkenntnisse aber ergeben sich in allen technischen Einrichtungen, auch wenn diese schon alterprobt sind.

Die Forderung nach Sicherheit bedingt ein ständiges Bemühen um die Optimierung der technischen Einrichtungen, ein Prozeß, der niemals enden kann.

Wichtig ist, daß die Öffentlichkeit sowohl über mögliche Gefahren als auch die zu ihrer Vermeidung zu treffenden Maßnahmen unterrichtet wird. Die geltenden Rechtsregeln und die für ihre Anwendung zuständigen Behörden müssen den Bürgern die Sicherheit geben, daß die getroffenen Maßnahmen ausreichend sind.

Das Gefühl der Sicherheit aber ist eine Vertrauensfrage, ohne die wir in unserer technischen Welt nicht miteinander leben können. Alles, was wir verwenden an Haushaltsmaschinen, an Verkehrseinrichtungen, an Industrieanlagen und Bauwerken, ist technischen

Regeln unterworfen, die von den Herstellern, den Betreibern und den Benutzern beachtet werden müssen.

Der Kernenergie gegenüber ist die Öffentlichkeit besonders kritisch, weil die Atombombe am Anfang stand, und weil die guten Erfahrungen noch so kurzfristig sind.

Die Geschichte lehrt, daß eine Gefahr um so geringer erachtet wird, je länger der Mensch sie kennt und mit ihr vertraut ist. Die Menschen benutzen das Feuer, solange sie überhaupt denken können; das Feuer ist unsere älteste Wärmequelle. Wir verdanken dem Feuer unsere Zivilisation und haben doch bis heute durch das Feuer viel Unglück angerichtet. Erst seit Lavoisier, im Zeitalter der Aufklärung des 18. Jahrhunderts, wissen wir, daß das Feuer, der Verbrennungsvorgang, nicht durch eine mysteriöse Substanz – das Phlogiston, wie man noch jahrzehntelang glaubte –, sondern durch eine exakt definierte chemische Reaktion mit Sauerstoff zustandekommt. Auch das Feuer war immer etwas Gefährliches. Die griechische Sage berichtet, daß die Götter den Prometheus hart bestraft haben, weil er das Feuer aus ihrer Welt gestohlen und den Menschen verraten hat. Ein erster Sabotage- oder Spionagefall im klassischen Altertum, wie er auch bei der Kernenergie vorgekommen ist.

Der Blitz ist eines der ältesten Schrecknisse der Menschen. In mühsamer wissenschaftlicher Arbeit ist die Elektrizität gedeutet und gebändigt worden. Seit 100 Jahren können die Menschen Elektrizität aus Bewegungsenergie in der Dynamomaschine herstellen. Daraus ist unendlicher Segen entstanden. Elektrischen Strom wollen und können wir uns aus unserem Leben nicht mehr wegdenken.

Aber es geschehen unendlich viele Unfälle durch falschen Gebrauch der Elektrizität. Die Automobile werden nach genauen Vorschriften gebaut und kontrolliert. Es gibt sehr genaue Bestimmungen und Verordnungen über das Verhalten im Straßenverkehr, und wir wollen auf die Vorzüge des Automobils sicher nicht verzichten. Wenn aber durch Nichtbeachten der Verkehrsregeln zwei Fahrzeuge mit hoher Geschwindigkeit frontal zusammenstoßen, hat das entsetzliche Konsequenzen. Bei einem einzigen solchen Zusammenstoß sind schon mehr Menschen ums Leben gekommen, als

durch die Nutzung der Kernenergie im Verlauf von zehn Jahren. Sicherheit und das Gefühl für Gefahren sind offensichtlich nicht nur eine wissenschaftliche und technische Frage. Sie sind auch ein Problem des menschlichen und gesellschaftspolitischen Einvernehmens. Jeder, der sich in unserer modernen Welt bewegt, bedarf der Information und des guten Willens, sich nach bestem Wissen und Gewissen mit den Funktionen dieser Welt auseinander zu setzen.

Für den Naturwissenschaftler und Ingenieur folgt daraus, daß er nicht nur daran arbeiten muß, durch verständnisvolle Zusammenarbeit zu einer guten und gefahrlosen Lösung zu kommen. Er muß auch aus dem Kreis seiner Fachwissenschaft heraustreten und der Allgemeinheit verständlich machen, was gefährlich und was gesichert ist. Die Öffentlichkeit aber muß dabei zuhören und lernen, wie sie es bisher auch stets bei der Benutzung neuer Einrichtungen tun mußte.

Es ist verständlich, daß eine vermutliche Gefahr oder Belästigung dann von jedem Individuum am leichtesten genommen wird, wenn sie weit von ihm entfernt ist. Kernkraftwerke, aber auch Industrieanlagen und Autobahnen hat der Mensch lieber in gewisser Entfernung von seiner Wohnstätte. Das ist gesunder Egoismus.

Der Mensch beurteilt eine Gefahr auch danach, ob er persönlich die freie Entscheidung hat, sich ihr zu unterziehen, z. B. ob er autofahren oder fliegen will. Wenn er sich aber überhaupt bewegen will in dieser modernen Welt, ist er ähnlichen Gefahren ausgesetzt, die er ursprünglich vermeiden wollte. Der Fußgänger ist beinahe ebenso gefährdet wie der Benutzer der Bundesbahn, bei der das geringste Versagen eines Angestellten den Tod von vielen Menschen herbeiführen kann.

Solche Beispiele lassen sich beliebig vermehren. Aber man kann den Menschen die Gefahren, denen sie ausgesetzt sind, nicht ausreden. Wir müssen vielmehr die Menschen davon überzeugen, daß nichts verschwiegen wird, und daß jede Maßnahme nach bestem Ermessen erfolgt.

Zur Zeit wird vielfach der Versuch gemacht, mit Wahrscheinlich-

keitsrechnungen nachzuweisen, daß die Sicherheit der Kernenergie sehr groß ist. Solche Rechnungen mögen wertvoll und richtig sein. Dem einzelnen und vor allen Dingen dem einfachen Menschen nützen sie wenig. Er kennt nicht die Bewertung der Einflußgrößen, die der Berechnung zugrunde gelegen haben. Seit wir uns in der Bundesrepublik Deutschland mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie ernstlich beschäftigen, sind 22 Jahre vergangen. In dieser Zeit sind mehr als 300000 Menschen in der Bundesrepublik Deutschland allein durch Unfälle im Straßenverkehr tödlich verunglückt und viele Millionen verletzt worden. Dieser Schaden ist etwa ebenso groß wie der, den die Bombe von Hiroshima angerichtet hat. Im Bereich der friedlichen Nutzung der Kernenergie ist in dieser Zeit durch Strahleneinwirkung in der Bundesrepublik Deutschland nicht ein einziger Mensch zu Tode gekommen.

Wer hätte vor 22 Jahren voraussagen können, ob er dabeisein würde und was wäre vielleicht demjenigen geschehen, der diesen möglichen Unglücksfall falsch eingeschätzt und daraus eine Entscheidung für sein Verhalten abgeleitet hätte?

Mit rationellen Überlegungen kann das Leben allein nicht gesteuert werden. Die Öffentlichkeit, der Staat, muß Grundsätze und Richtlinien schaffen, nach denen sich in einer demokratischen Welt das Gefährliche und Lebenswerte verteilt. Wissenschaft und Technik sind niemals von Grund auf gut oder böse. Die Politik, d.h. die Gemeinschaft, muß dafür sorgen, daß die Ergebnisse unseres technischen Zeitalters nicht zwangsweise zu Schäden führen.

Wenn der Staat zu dem Ergebnis kommt, daß in der Bundesrepublik Deutschland die Entwicklung der Kernenergie notwendig und möglich ist, so muß er das auch durchsetzen. Die Gegner müssen unterschieden werden nach ihrer Meinung und Gesinnung. Wenn jemand – ob Fischer oder Bauer – durch Errichtung eines Kernkraftwerks und die Erwärmung des Kühlwassers an seinem Eigentum beeinträchtigt wird, so muß er gehört und eventuell entschädigt werden, wenn der Standort aus allgemeinen Überlegungen zwingend ist.

Die Kernenergie sollte auch nicht Kampfobjekt extremer Grup-

pen werden, denn sowohl in der kapitalistischen als auch in der kommunistischen Welt wird die friedliche Nutzung intensiv betrieben.

Allgemeines Unbehagen aber muß in einer demokratischen Welt diskutiert werden. Den Parlamenten bleibt dann nicht erspart, schließlich eine Entscheidung zu fällen, und das nicht etwa für jeden einzelnen Fall, sondern für die Grundfrage. Die Gerichte, die jetzt soviel damit beschäftigt werden, sind bei solchen Entscheidungen meistens überfordert. Die Gesetzgebung muß so klar und sicher sein, daß sich daraus einfache und nüchterne Entscheidungen und keine grundsätzlichen Fragen der Konstruktion und der Sicherheit ableiten.

Die Frage der Sicherheit aber ist mindestens ebenso wichtig wie die Frage nach der Notwendigkeit. Beide Probleme müssen gegeneinander abgewogen werden.

Die Kernphysik und die Entwicklung der Kernenergie haben sich in der Bundesrepublik Deutschland zu einem wertvollen und aussichtsreichen Arbeitsgebiet entwickelt.

Die deutsche Wissenschaft und Technik hat auf vielen Gebieten, die in der Nachkriegszeit aktuell wurden, bis heute nicht oder nur mühsam wettbewerbsfähig werden können. Das gilt sicher für den Flugzeugbau, auf dem Deutschland früher einmal führend war, für die Weltraumforschung und die Ozeanographie; es gilt z.T. auch für die Computertechnik, wo es große Mühe macht, sich gegen die überragende Stellung amerikanischer Wettbewerber auch nur in etwa zu behaupten. In der Mehrzahl aller Beispiele hängt dieser Rückstand damit zusammen, daß z.B. in den Vereinigten Staaten das große militärische Potential eine Fülle von Aufgaben stellt und löst, die zugleich der allgemeinen Volkswirtschaft zugutekommen. Auch bei der atomaren Rüstung ist das der Fall. Um so höher sollte der Erfolg und der Wert der Kerntechnik eingeschätzt werden, bei der es gelungen ist, sowohl bei den jetzt schon zum Stand der Technik gehörenden Leichtwasserreaktoren als auch bei allen Zukunftsaufgaben im Bereich der Kerntechnik ein konkurrenzfähiger und wertvoller Partner zu werden.

In den Forschungs- und Entwicklungsstätten, in den einschlägigen Montage- und Zulieferungsunternehmen, sind heute Zehntausende von Menschen tätig, die Aufträge im In- und Ausland vorbereiten und ausführen und an der Gestaltung der Zukunft arbeiten. Viele Aufträge in Milliardenhöhe sind getätigt oder stehen zum Abschluß an. Die Kernenergie ist damit längst ein wertvoller Bestandteil unserer Volkswirtschaft geworden. Sie kann nicht aufgegeben oder verzögert werden, wenn wir nicht unsere wissenschaftliche und wirtschaftliche Stellung ernstlich gefährden und den enger und enger werdenden Arbeitsmarkt zusätzlich stören wollen.

Die Gegner der friedlichen Nutzung der Kernenergie haben zweifellos sehr unterschiedliche Motive. Verständlich mag noch sein, wenn die ortsansässige Bevölkerung aus der Sorge um die Sicherung vor Strahlenschäden nach weitestgehenden Schutzmaßnahmen verlangt und hierüber informiert sein will. Dabei mag auch das Interesse an der Bewahrung der bestehenden landwirtschaftlichen Struktur eine wichtige Rolle spielen. Die bisherige Erfahrung zeigt jedoch, daß diese Anliegen in sachlicher Diskussion erörtert und auch berücksichtigt werden können. Der rigorose Protest mit Gewaltanwendung geht jedoch ganz offensichtlich von nicht ortsansässigen Gruppierungen aus, die teils aus undurchsichtigen politischen Gründen, zum Teil auch aus fehlgeleiteter Protesthaltung, gar nicht zu einer sachlichen Diskussion bereit sind. Ihr Angriffsziel ist auch nicht die friedliche Nutzung der Kernenergie, vielmehr der technische Fortschritt als solcher und letzten Endes unsere Gesellschaftsordnung.

Für die Bundesrepublik Deutschland ist die Kernenergie der einzige Weg, um die einheimische Rohstoff- und Energieversorgung nachhaltig sicherzustellen. Deutschland wäre hoffnungslos dem Diktat der Ölländer ausgesetzt, wenn wir dieses Gegengewicht nicht hätten. Es muß gelingen, den Einsatz des Öls in der Bundesrepublik Deutschland zu begrenzen, wenn wir unser Industriepotential, das jetzt schon schwer beeinträchtigt ist, nicht nachhaltig schädigen wollen. Einsparen von Energie und Ersatz der derzeitigen Energieversorgung ist kurzfristig unmöglich und würde langfristig schwere

Benachteiligungen mit sich bringen. Daß wir jetzt ausreichend, scheinbar sogar im Überfluß versorgt sind, hat seine Ursache darin, daß wir schon mitten in die Schere zwischen Konkurrenzfähigkeit und überhöhten Energiekosten geraten sind, was eine der Ursachen unserer derzeitigen Konjunkturschwäche ist.

Darüber hinaus aber ist die Einsparung und der Ersatz der fossilen Brennstoffe für die ganze Welt eine moralische Verpflichtung. Diese fossilen Brennstoffe, ob Kohle, Erdöl oder Erdgas, sind einmal in Hunderten von Millionen Jahren entstanden. In einer von der heutigen Generation überblickbaren Zeit von Tausenden von Jahren werden sie nicht nachwachsen. Diese fossilen Brennstoffe sind aber mit ihrem Gehalt an organischer Substanz – an Kohlenwasserstoffen – ein unentbehrliches Ausgangsmaterial für vieles, was wir dringend für unsere Existenz benötigen. Dazu gehören die Pflanzenschutz- und Düngemittel, die Arzneimittel, die gesamte Chemie der Kunststoffe, der Kunstfasern und des Kautschuks, Farbstoffe und vieles andere. Es bestehen aber zur Zeit keine Aussichten, diese Erzeugnisse auf anderer Basis herzustellen.

Diese unentbehrliche Rohstoffgrundlage sollten wir der Nachwelt für möglichst lange Zeit erhalten. Es wird schon heute schwerfallen, den in 25–30 Jahren drohenden Mangel an Erdöl, das heute unentbehrlich für unseren Verkehr, für unsere Landwirtschaft und für vieles andere ist, rechtzeitig mit anderen Energierohstoffen zu ersetzen. Die vielen jungen Menschen, die sich heute an Aktionen gegen Kernkraftwerke beteiligen, müssen wissen, daß sie in ihrem späteren Alter nicht mehr wie heute mit dem Auto fahren werden, wenn dieses Problem nicht gelöst wird.

Bei diesem zentralen Problem der Menschheit aber, das nicht durch oberflächliche Animosität oder aus kurzfristigen egozentrischen Motiven beiseite getan werden kann, muß die deutsche Wissenschaft und Technik helfen. Die Industrieländer, unter denen die Bundesrepublik Deutschland eine hervorragende Rolle einnimmt, müssen dieses Problem lösen mit all den anderen Hilfeleistungen zusammen, welche sie der übrigen Welt schuldig sind. Der Vertrag mit Brasilien über die Lieferung von acht Kernkraftwerken und

entsprechende Hilfen beim Brennstoffkreislauf ist dafür ein Beispiel.

Die Bundesrepublik Deutschland würde entscheidend an Achtung und Bedeutung verlieren, wenn sie in dieser Situation mit leeren Händen dastünde, weil sie aus kurzsichtigen Beweggründen das wichtige Arbeitsgebiet der Kernenergie aufgegeben oder verzögert hätte.

Das friedliche Gleichgewicht in der Welt, dessen Aufrechterhaltung schon jetzt so große Schwierigkeiten verursacht, kann nicht erhalten bleiben, wenn die Lebensbedingungen der Menschen in einem großen Teil der Welt nicht nach und nach den unsrigen angepaßt werden. Wenn die Bundesrepublik Deutschland dabei nicht mithelfen kann und will, wird sie ihre Wertschätzung als Träger von Kultur und Zivilisation verlieren.

Die friedliche Nutzung der Kernenergie ist dazu ein wichtiges Hilfsmittel.

# Kapitel 17
# KERNENERGIE – SOWENIG WIE MÖGLICH?

So lautete sinngemäß der Tenor einer Debatte im Deutschen Bundestag am 14. Dezember 1978.

Es ging um die Frage, ob der Schnelle Brüter in Kalkar an der deutsch-holländischen Grenze weitergebaut werden sollte. Durch Gerichtsentscheidungen verunsichert, hatte die Landesregierung Nordrhein-Westfalen ihre Zustimmung von einem Beschluß des Bundestages abhängig gemacht. Undurchsichtige Vorentscheidungen und eine unentschiedene Haltung der politischen Parteien führten zu einem merkwürdigen Vorschlag. Die Landesregierung in Düsseldorf regte nämlich an, von dem Weiterbau des Schnellen Brüters abzusehen und statt dessen eine »Plutoniumsvernichtungsanlage« zu bauen. Hierbei sollte das in den Wiederaufarbeitungsanlagen anfallende Plutonium durch Einwirkung auf Thorium vernichtet werden. Dieser Vorschlag hatte viel Ähnlichkeit mit dem des amerikanischen Präsidenten Carter, der einen ähnlichen Ausweg gesucht hatte, um das schwer erkennbare Plutonium im Reaktorbetrieb sozusagen in statu nascendi in U 233 zu verwandeln, das man wegen seiner harten Gamma-Strahlung leichter überall beobachten könnte. Naturwissenschaftlich war der Vorschlag von Düsseldorf abwegig, da er gerade wegen der Entstehung des U 233 viel gefährlicher sein mußte.

Der Antrag auf Weiterarbeit in Kalkar wurde schließlich mit einer knappen Mehrheit der Bonner Regierungs-Parteien angenommen. Diese Mehrheit aber kam nur mit Hilfe einer harten Frak-

tionsdisziplin zustande. Die CDU/CSU-Opposition stimmte dagegen, weil sie ihrerseits einen sehr viel positiveren Antrag eingebracht hatte. Aber auch in ihren Reihen gibt es Bedenken.

Kurz vorher hatte in Österreich eine Volksabstimmung stattgefunden, bei der die christliche Opposition aus rein politischen Gründen gegen die Inbetriebnahme des Kernkraftwerks Zwentendorf votierte, für das sich Bundeskanzler Bruno Kreisky sehr stark einsetzte.

Andererseits wird in den Ländern des Ostblocks, insbesondere in der Sowjet-Union, die Kernenergie mit großem Eifer ohne jede Diskussion weiterentwickelt.

In Frankreich, wo die politischen Mehrheitsverhältnisse wenig eindeutig sind, wird die Kernenergie zielbewußt gefördert und weitergebaut. Dort will man bis zum Jahre 2000 die gesamte Versorgung mit elektrischer Energie auf Kernenergie umstellen und bereitet den Bau von sechs Schnellen Brütern vor.

Diese unterschiedlichen Auffassungen im politischen Raum zeigen, daß die Diskussionen um die friedliche Nutzung der Kernenergie kaum noch unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten geführt werden. Bei der Meinungsbildung wird jetzt in erster Linie auf politische Stimmungen und Mehrheitsverhältnisse innerhalb der Parteien Rücksicht genommen.

Es gibt in der Bundesrepublik Deutschland sogenannte »Grüne Gruppen«, die sich aus unterschiedlichsten Motiven gegen jeglichen Einsatz der Kernenergie entschieden haben. Diese Motive liegen zum Teil in der Abneigung gegen zuviel technischen Fortschritt, der angeblich die Lebensqualität des einzelnen einschränkt und immer unheimlicher wird, weil man ihn nicht versteht und auch nicht verstehen will.

Bei dieser generellen Abneigung steht die Kernenergie nur an der Spitze von Bedenken mannigfaltigster Art. Es geht um die Sorge vor Vergiftung durch chemische Produkte, gegen eine Landwirtschaft, die sich allzusehr von althergebrachten Methoden entfernt. Es geht aber auch um persönliche Beunruhigungen durch die Landesplanung, durch die Errichtung neuer Startbahnen auf Flugplät-

zen oder durch den Bau zusätzlicher Autostraßen. Alles das spielt je nach persönlichem Lebensstil eine wichtige Rolle.

Die Ablehnung kommt aber auch aus Kreisen, die unsere Gesellschaftsordnung ändern wollen, obwohl doch gerade die Länder mit anderer Gesellschaftsordnung die Kernenergie forcieren. Diese in den letzten Jahren aus dem Boden gestampften Bewegungen werden zu einer Gefahr für unsere innere Ordnung, wenn sie mit Gewalt oder mit passivem Widerstand gegen die Ordnungsmächte des Staates aktiv werden.

Die vielseitigen Motive des Widerstandes sind kaum zu deuten und zu differenzieren. Nur schwer finden die öffentlichen Diskussionen noch zurück zu sachlichen Tatbeständen. Die Öffentlichkeit wird überfüttert mit naturwissenschaftlichen und technischen Informationen, die meist schwer zu verstehen sind. Wenn die Menschen glauben, etwas verstanden zu haben, dann halten sie sich für urteilsfähig und beziehen Stellung dafür oder dagegen. Die Öffentlichkeit hört, wie die Sachverständigen sich streiten, und verliert den Glauben an deren wissenschaftliche Autorität. Es glaubt niemand mehr dem anderen, und schließlich will auch keiner mehr zuhören.

Die ganze Problematik dieser Situation kam bei der Diskussion zum Ausdruck, die vom 28. März bis zum 3. April 1979 auf Initiative des niedersächsischen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht über das sogenannte Entsorgungsprojekt Gorleben stattfand. Dabei kamen in einer allgemein sachlichen Atmosphäre die unterschiedlichsten Meinungen zutage. Sachverständige und Parteigänger aus vielen Ländern, auch aus solchen, die sowohl Atombomben wie Kernkraftwerke konsequent weiterbauen, fanden hier – sozusagen auf neutralem Boden – die Chance, dafür oder dagegen zu argumentieren. Das war eine Veranstaltung, die in dieser Form und in diesem Freimut noch nirgendwo stattgefunden hatte. Es war auch ein guter Platz dafür, denn noch ist in Gorleben, in einer stillen, ländlichen Gegend an der Zonengrenze, bis auf einige Brunnenbohrungen nichts geschehen.

Ob diese Veranstaltung ein verwertbares Ergebnis haben wird, bleibt abzuwarten. Die Regierung von Niedersachsen hat inzwi-

schen den Bau einer Wiederaufarbeitungsanlage abgelehnt und will nur einzelne Teile des Gesamtprojektes genehmigen. Die Bundesregierung und der Bundestag müssen jetzt nach neuen Wegen suchen. Die Gegner werden nicht schweigen. Sie wollen eben eine totale Abkehr von der Kernenergie.

Mitten in diese Diskussion platzte der Störfall hinein, der sich im Reaktor in Harrisburg in den USA ereignet hatte. Die Nachrichtenübermittlung glich einer Kriegsberichterstattung. Man hätte zuweilen meinen können, die Gegner der Kernenergie sehnten das Erfolgserlebnis einer Katastrophe herbei. Einige Tage später, als eine zuverlässige Berichterstattung vorlag, mußte man doch wohl zu dem Urteil kommen, daß der Störfall ohne ernstliche Folgen für die Bevölkerung geblieben ist. Trotz vieler Mängel an den Regel- und Sicherheitseinrichtungen und trotz verschiedener Bedienungsfehler ist kein Mensch umgekommen. Die Schutzbarrieren haben letzten Endes gehalten. Der GAU ist nicht eingetreten und erst recht nicht der »Super-GAU«, von dem im Augenblick der Panik gesprochen wurde. Die Aufregung über Harrisburg ist in den Vereinigten Staaten von Amerika, wie man heute hört, viel kleiner gewesen als bei uns. Solche Erfahrungen schließen natürlich nicht aus, daß jeder Störfall Anlaß zu neuem Nachdenken über zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen sein muß.

Auf der Welt sind jetzt etwa 200 Atomkraftwerke in Betrieb. Dabei ist durch Radioaktivität noch niemals ein Mensch umgekommen. Die Entdeckung von Otto Hahn, die beim Jahreswechsel 1978/1979 40 Jahre zurücklag, hat zu Toten nur bei der Vorbereitung ihrer militärischen Nutzung geführt, nämlich bei der Herstellung von Atombomben und – als es beabsichtigt war – deren kriegerischem Einsatz. Damals waren es gleich Hunderttausende von Toten, welche die Menschheit noch heute schrecken.

Für das Problem der Atombombe und ihrer Abschaffung wird in der Welt keine Lösung gefunden. Trotz aller Verhandlungen über Begrenzung und Abrüstung häuft sich das Bombenmaterial, ohne daß darüber eine zuverlässige Kontrolle besteht. Aber auch ohne daß sich die Mehrheit der Menschen darüber noch erregt.

Statt dessen überträgt man den Schrecken und die Angst ganz unberechtigt auf die friedliche Nutzung der Kernenergie.

Die derzeitigen Stellungnahmen vieler Politiker in der Bundesrepublik Deutschland sind oft allzu leicht durchschaubar. Sie sind beherrscht von Parteipolitik und Wahlüberlegungen. Es ist eine dringende Aufgabe des Staates, in diesem Chaos der Meinungsbildung eine Entscheidung herbeizuführen. Seit ca. vier Jahren kommen keine Entscheidungen über die Errichtung von Kraftwerken mehr zustande, ganz gleich, ob es sich um Kernenergieanlagen oder auch um Kohlekraftwerke handelt.

Jetzt nach dem Störfall in den USA geht es sogar um die Frage, ob die laufenden Kernkraftwerke abgestellt werden sollen. Wir hören leichtfertige Forderungen und oberflächliche Urteile, die außer acht lassen, daß in der Bundesrepublik Deutschland schon jetzt 14 Prozent der elektrischen Energie aus Kernkraftwerken stammen. Ihre Abschaltung würde sehr schwere wirtschaftliche Folgen haben.

### *Wie soll es weitergehen?*

Gelegentlich des Foratomkongresses im Mai 1979 in Hamburg hat Bundeskanzler Helmut Schmidt erneut erklärt, daß man auf die Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland nicht verzichten kann und will. Der Staat wird jetzt an einem verbindlichen und langfristigen Energieprogramm arbeiten müssen, in dem nicht nur die Zahl der Kernkraftwerke, die wir benötigen, festgesetzt wird, sondern in dem auch die Begleitprogramme, die zur weiteren Entwicklung der Kernenergie notwendig sind, neu entwickelt werden.

Die Unruhen im Iran und ihre Folgen haben die Ölproblematik in unmittelbare dramatische Nähe gerückt. Im Augenblick wissen wir nicht, ob wir in den nächsten Monaten und Jahren überhaupt genug Erdöl bekommen. Der Ölpreis steigt rapide. Schon heute wirkt sich dies negativ auf unsere Inflationsrate aus. Jetzt wissen wir mit Sicherheit, daß das Öl knapp und teuer wird. Was geschieht, wenn das Öl wirklich einmal irgendwo nicht zur Verfügung steht?

Wie werden die Weltmächte reagieren, wenn sie tatsächlich in Energienot geraten?

Planung und Erstellung eines Kraftwerkes einschließlich aller Genehmigungsverfahren erfordern einen Zeitraum von acht bis zehn Jahren. Das gilt auch für Kohlekraftwerke, die nur noch mit Ausnahmegenehmigungen gebaut werden können, da die gesetzlichen Bestimmungen über die Reinheit der Abgase kaum erfüllbar sind.

Es muß auch klar und ehrlich entschieden werden, wieviel von der erforderlichen elektrischen Energie durch Kernkraft oder durch Kohle erzeugt werden soll und kann.

Extreme Forderungen laufen wiederum darauf hinaus, die Kernkraft ganz durch Kohle zu ersetzen. Dabei wird von einer Verdoppelung oder Verdreifachung der jetzigen Kohlenförderung gesprochen. Es ist eine Frage riesiger Investitionskosten und stark erhöhter Energiepreise, wenn die Kohleförderung die jetzige Menge von etwa 85 – 90 Millionen Tonnen im Jahr wesentlich übersteigen soll. Es müßten im Ruhrgebiet neue Schachtanlagen niedergebracht werden. Das sozialpolitische Problem der Beschaffung von Arbeitskräften müßte gelöst werden. Und das alles in einer Landschaft, über deren schlechte Umweltbedingungen jetzt ständig berichtet wird. Solche Maßnahmen würden im übrigen zehn bis zwanzig Jahre dauern. Eine solche Steigerung der Verbrennung von Kohle würde darüber hinaus erhebliche Umweltschädigungen durch $SO_2$ und Kohlensäure mit sich bringen.

Eine Entscheidung für die Einstellung des Reaktorbaues und der in Vorbereitung befindlichen Entwicklungsstufen wie des Schnellen Brüters, des Hochtemperaturreaktors und schließlich auch der Kernfusion würde das Erscheinungsbild der Bundesrepublik Deutschland im politischen, wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Gesichtsfeld der Welt grundsätzlich verändern. Es ist gar nicht denkbar, daß man den Kernkraftwerksbau mit seinen Zehntausenden von Arbeitsplätzen stillegt, ohne daß diese Maßnahmen Rückwirkungen auf die Forschungsarbeit in den großen wissenschaftlichen Forschungsstätten hätte, in denen an der Zukunft der

Kernphysik und der Kernenergie gearbeitet wird. Auch hier handelt es sich um Tausende von Arbeitsplätzen.

Es ist ein Irrglaube zu meinen, man könne Menschen zur Forschung begeistern, wenn eine praktische Nutzung von vornherein ausgeschlossen ist.

Kernphysik und Kerntechnik haben einen langen Weg vor sich, von dem die Leichtwasserreaktoren nur die erste Stufe sind. Weitere Entwicklungsstufen müssen folgen und durch sorgfältige und langwierige Arbeit vorbereitet werden. Bei jeder Stufe aber werden Erfahrungen gesammelt auch über Rückschläge. Am Ende steht vielleicht die Kernfusion, deren industriellen Einsatz wir in diesem Jahrhundert nicht mehr erleben werden.

Mit den Beschlüssen der UNO und den Nichtverbreitungsverträgen sowie zahlreichen internationalen, bilateralen und multilateralen Vereinbarungen ist die Bundesrepublik Deutschland in ein System eingeordnet, das sie nicht ohne Vertragsbruch und ohne großen Verlust ihres Ansehens verlassen kann.

Die im Jahre 1955 in der Bundesrepublik Deutschland begonnenen Arbeiten im Bereich der Kernenergie haben verhältnismäßig schnell dazu geführt, daß wir hier eine führende Stelle einnehmen. Der Rückstand von Wissenschaft und Technik konnte schnell überwunden und die durch keinerlei militärische Geheimhaltung belasteten Arbeiten schnell zum Erfolge geführt werden. Dabei hat die Bundesrepublik Deutschland den großen Vorteil, daß sie auf eine Atomrüstung und Anwendung von Atomwaffen ausdrücklich verzichtet hat.

Sie ist deshalb ein beliebter und begehrter Verhandlungspartner der Dritten Welt. Damit aber hat sie eine hohe internationale Verpflichtung, die sie daran hindert, aus oberflächlichen und eigensüchtigen Sonderinteressen heraus Entscheidungen zu fällen, die sie aus diesem internationalen Konzert ausschließen würde. Diese Dritte Welt aber leidet mehr als die Industriestaaten unter der Erdölverteuerung. Ihr kann ohne die Kernenergie nicht geholfen werden. Dort wird fest damit gerechnet, daß die Bundesrepublik Deutschland sich an der Industrialisierung, an der Energieversor-

gung und an der Behebung der allgemeinen Mangelerscheinungen beteiligt.

Maßgebend für die Entscheidung, ob Kernenergie oder nicht, kann allein das Moment der Sicherheit sein, das allen anderen Gesichtspunkten vorangestellt werden muß. In Deutschland besteht seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts eine Gewerbeaufsicht, die die industrielle Entwicklung immer vor gefährlichen Improvisationen geschützt hat. Seit dem Jahre 1885 gibt es die Berufsgenossenschaften, in denen Unternehmer und Belegschaft in voller Parität und mit gleichgerichtetem Interesse zusammenarbeiten und die Sicherheit der Arbeitsplätze beaufsichtigen. Diese Tradition hat dazu beigetragen, daß die Bundesrepublik Deutschland im internationalen Wettbewerb in bezug auf Sicherheit ihrer Industrie einen bevorzugten Platz einnimmt.

Diese Erfahrung hat sich auch beim Bau von Kernreaktoren wie überhaupt bei jedem Umgang mit radioaktiven Stoffen bewährt. Das gilt insbesondere auch für die Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe, über die jetzt so viel diskutiert wird. In Karlsruhe ist seit 1971, also seit acht Jahren, eine Großversuchsanlage in Betrieb, in der viele Unsicherheiten des Verfahrens geklärt wurden, ohne daß es dabei nur einen einzigen Unglücksfall gegeben hätte. Lange Zeit war diese Anlage in den vergangenen Jahren die einzige auf der Welt, die überhaupt in Betrieb war. Mit den anderen Industrieländern, die solche Prozesse auch industriell betreiben, steht die Bundesrepublik Deutschland im engen Gedankenaustausch, da sie deren Erfahrungen nutzen kann.

Das Problem der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen, die man in der Bundesrepublik Deutschland unglücklicherweise als »Entsorgung« bezeichnet hat, ist in vernünftigen Zeiträumen großtechnisch lösbar. Dafür liegen ausreichende Erfahrungen vor. Die damit verbundene Rückführung des nicht genutzten Urans und des für die Schnellen Brüter wertvollen Plutoniums ist eine Weiterentwicklung zur besseren Nutzung des Urans, auf die nicht verzichtet werden kann.

Die Endlagerung der radioaktiven Rückstände – die eigentliche

Entsorgung – ist Gegenstand der Bemühungen aller Industrieländer. Der bei uns beschrittene Weg der Lagerung in Salzstöcken ist aussichtsreich und wird von der übrigen Welt mit Aufmerksamkeit beobachtet. Bisher hat man im Salzbergwerk Asse damit gute Erfahrungen gemacht, die sich allerdings noch nicht auf hochaktive Rückstände beziehen.

Die Frage der Sicherheit ist in ihrer Beurteilung von einer merkwürdigen Bewußtseinsspaltung begleitet. Mit bedauerndem Achselzucken begleiten wir die ca. 100 000 Todesfälle, die das Autofahren in den USA und in Europa jährlich fordert. Wir erleben Dammbrüche von Kanälen und Grubenunglücke mit Todesopfern in unseren Bergwerken, obwohl wir diese doch schon so lange betreiben. Wir können trotz aller Sicherheitsmaßnahmen nicht verhindern, daß immer wieder ein Unglücksfall eintritt.

Wir müssen uns in unserer modernen Gesellschaft jetzt ehrlich darüber klar werden, daß wir in einer stetigen, ruhigen Entwicklung fortschreiten müssen. Ohne große Gefahren für unsere Volkswirtschaft kann sie nicht unterbrochen werden.

Die Bauern, die teilweise gegen die Kernenergie eingestellt sind, müssen sich dabei bewußt bleiben, daß sie ohne ihre Traktoren und Melkmaschinen eine neuzeitliche Landwirtschaft nicht aufrechterhalten können. Dafür aber benötigen sie Energie.

Unsere Hausfrauen werden nicht auf die Bequemlichkeiten eines modernen Haushaltes verzichten wollen, obwohl dort viele Unglücksfälle passieren. Sie werden nicht zu den Plagen zurückkehren wollen, welche die alte Generation unter uns noch in Erinnerung hat.

Gerade der harte Winter 1978/1979 hat in Schleswig-Holstein gezeigt, welche Folgen entstehen, wenn nur für wenige Tage der elektrische Strom ausfällt.

Die Jugend, die sich oft so leidenschaftlich gegen die Kernenergie engagiert, erklärt, daß sie sich mit einem einfachen Leben begnügen wolle. Aber ob sie ernsthaft bereit ist, über lange Zeit hinaus die modernen Vorteile unseres Lebens wie das Automobil, das Flugzeug und die Freizügigkeit der Touristik in der Welt aufzugeben,

muß man wohl doch bezweifeln. Auch die Humanisierung der Arbeit, über die jetzt so viel diskutiert wird, ist ohne neue Technik, ohne Fortschritte und vermehrten Energieeinsatz nicht denkbar.

Schließlich aber bleiben Hunger und Not der unterentwickelten Welt, die ohne eine ausreichende Energieversorgung nicht behoben werden können.

Das Uran, die radioaktiven Isotopen und die natürliche Radioaktivität sind ebenso Naturschätze wie die fossilen Brennstoffe und alles das, womit der Mensch sein Leben auf der Welt gestaltet.

Es bleibt eine Schicksalsfrage:

Sollen wir wirklich sowenig Kernenergie erzeugen wie möglich?

Oder sollte es nicht eine Verpflichtung für uns sein, soviel Kernenergie zu erzeugen wie erforderlich ist, um das Leben aller Menschen auf der Welt erträglich zu gestalten, und wie es nach dem Stand unseres Könnens möglich ist!

# Anhang

# I
# *Mitglieder der Deutschen Atomkommission, gebildet am 26. Januar 1956*

Bundesminister (jetzt Ministerpräsident von Bayern) Franz Josef Strauß – Vorsitzender –
Dr. Hermann J. Abs (Deutsche Bank AG, Frankfurt)
Dr. Hans C. Boden (AEG, Frankfurt)
Prof. Dr. Leo Brandt (Staatssekretär Nordrhein-Westfalen)
Prof. Dr. Ernst von Caemmerer (Universität Freiburg/Br.)
Dr. Rupprecht Dittmar (Deutsche Angestellten-Gewerkschaft, Hamburg)
Dr. Richard Fischer (Hamburgische Electricitäts-Werke AG, Hamburg)
Gerhard Geyer (Esso AG, Hamburg)
Dr. Hans Goudefroy (Allianz Versicherungs-AG, München)
Prof. Dr. Ulrich Haberland (Bayer AG, Leverkusen)
Prof. Dr. Otto Hahn † (Max-Planck-Gesellschaft, Göttingen)
Prof. Dr. Otto Haxel (Universität Heidelberg)
Prof. Dr. Werner Heisenberg (Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen)
Prof. Dr. Gerhard Hess (Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg)
Dr. Carl Knott (Siemens AG, Erlangen)
Dr. Wilhelm Alexander Menne (Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt)
Dr. Alfred Petersen (Metallgesellschaft, Frankfurt)
Dr. Hermann Reusch (Gutehoffnungshütte Sterkrade AG, Oberhausen)

Dr. Hans Reuter (Demag AG, Duisburg)
Prof. Dr. Wolfgang Riezler (Universität Bonn)
Ludwig Rosenberg (Deutscher Gewerkschaftsbund, Düsseldorf)
Prof. Dr. Arnold Scheibe (Universität Göttingen)
Dipl.-Ing. Heinrich Schöller, (RWE, Essen)
Prof. Dr. Gerhard Schubert (Universität Hamburg)
Dipl.-Ing. Georg Schulhoff (Handwerkskammer Düsseldorf)
Dr. Hermann Winkhaus (Mannesmann AG, Düsseldorf)
Prof. Dr. Karl Winnacker (Farbwerke Hoechst AG, Frankfurt)

# II
# *Erläuterung ausgewählter Begriffe aus der Kerntechnik*

| | |
|---|---|
| 1. Alphastrahlen | Alphastrahlen treten beim radioaktiven Zerfall instabiler Elemente auf und bestehen aus doppelt positiv geladenen Heliumatomen. |
| 2. Betastrahlen | Betastrahlen treten beim radioaktiven Zerfall instabiler Elemente auf und bestehen aus Elektronen. |
| 3. Brennstoffkreislauf | Der Brennstoffkreislauf umfaßt die Verarbeitungsschritte von der Erzgewinnung, über die Herstellung von Urankonzentrat, die Umwandlung zum $UF_6$ (Konversion), die Urananreicherung, die Brennelementfertigung, die Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung, die Refabrikation von Uran und Plutonium zu neuen Brennelementen bis zur Verfestigung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle. |
| 4. Brüten | siehe Konversion. |
| 5. C-14-Methode | Methode zur Bestimmung des Alters kohlenstoffhaltiger Substanzen mit Hilfe der Halbwertszeit des Kohlenstoffisotops C-14. |

| | |
|---|---|
| 6. Calder-Hall-Reaktoren | Englische Kernkraftwerke, die metallisches Uran natürlicher Zusammensetzung als Brennstoff, Graphit als Moderator und Kohlensäure als Kühlmittel verwenden. Der erste Reaktor dieses Typs wurde bei Calder Hall errichtet. |
| 7. CANDU-Reaktor | Kanadischer Schwerwasserreaktor nach dem Druckröhrensystem. Die Brennelemente befinden sich in Röhren, durch die Schweres Wasser als Kühlmittel unter Druck strömt. Die Röhren sind in einem Behälter angeordnet, in dem sich Schweres Wasser als Moderator unter Normaldruck befindet. Brennstoff ist Natururan. |
| 8. Core | Reaktorkern, bestehend aus den Brennelementen, den Regelstäben, dem die Brennelemente umströmenden Kühlmittel und in manchen Fällen dem Moderator. |
| 9. Curie | Einheit der Radioaktivität. 1 Curie = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ zerfallende Atome pro Sekunde. |
| 10. Deuterium | Schweres Wasserstoffatom, das neben einem Proton noch ein Neutron im Kern enthält. |
| 11. Druckröhrenreaktor | Kernreaktor, bei dem sich die Brennelemente in Röhren befinden, durch die das Kühlmittel unter hohem Druck strömt. |
| 12. Druckkesselreaktor | Kernreaktor, bei dem sich die Brennelemente, die den Neutronenfluß steuernden Regelstäbe und das die Brennelemente unter hohem Druck umströ- |

| | |
|---|---|
| | mende Kühlmittel in einem Druckgefäß befinden. |
| 13. Druckwasserreaktor | Reaktor mit Wasser als Kühlmittel und Moderator. Das Wasser umströmt die Brennelemente unter Druck, siedet dabei nicht und gibt seine Wärme über einen Wärmeaustauscher an einen zweiten Wasserkreislauf ab, in dem der Dampf erzeugt wird, mit dem die Turbine beaufschlagt wird (Zweikreissystem). Brennstoff ist auf 3% angereichertes Uran. |
| 14. Elektronen | Elektronen sind Elementarteilchen, die eine negative Ladung und $^1/_{1836}$ der Masse eines Protons besitzen. |
| 15. Elektronen-Synchrotron | Beschleuniger, bei dem Elektronen auf einer Kreisbahn von konstantem Radius mit Hilfe elektrischer Felder auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Magnetfelder besorgen die Führung der Elektronen auf der Kreisbahn. |
| 16. eV | Elektronenvolt. Energieeinheit<br>$1\ eV = 4{,}45 \cdot 10^{-26}\ kWh$ |
| MeV | Mega-Elektronvolt = $10^6$ eV |
| GeV | Giga-Elektronvolt = $10^9$ eV |
| 17. Gammastrahlen | Gammastrahlen entstehen beim radioaktiven Zerfall instabiler Elemente. Es handelt sich um elektromagnetische Strahlen mit hoher Energie. Röntgenstrahlen gehören zur selben Strahlenart, werden aber nicht durch radioaktiven Zerfall erzeugt. |
| 18. Gasgekühlter Reaktor | Reaktor, in dem Gas, wie z.B. $CO_2$ oder Helium, als Kühlmittel dient. |

19. Halbwertszeit — Die Zeit, nach der die Hälfte eines radioaktiven Nuklids zerfallen ist und sich in ein anderes Nuklid umgewandelt hat.

20. Hochtemperaturreaktor — Reaktor, in dem das Kühlmittel mit hoher Temperatur (700–950 °C) aus dem Reaktorkern austritt. Als Kühlmittel dient Helium.

21. Homogener Reaktor — Versuchsreaktor, in dem der Brennstoff homogen im Kühlmittel oder Moderator verteilt ist, z.B. Uranylsulfat in Wasser.

22. Isotope — Atomkerne mit gleicher Kernladungs-, d.h. Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl. Sie gehören zum selben chemischen Element, unterscheiden sich aber im Atomgewicht.

23. Konversion(sfaktor) — Umwandlung eines nicht spaltbaren Elementes in ein spaltbares durch Neutroneneinfang, wie z.B. $U\ 238^{+n} \rightarrow$ Pu-239. Der Konversionsfaktor ist das Verhältnis von gewonnenem spaltbaren Material zu verbrauchtem Spaltstoff. Ist der Konversionsfaktor $>1$, spricht man vom Brüten.

24. Kritische Masse — Kleinste Masse an Spaltstoff, die unter bestimmten Randbedingungen eine sich selbsterhaltende Kettenreaktion in Gang setzt.

25. Leichtwasserreaktor — Kernreaktor, der normales (leichtes) Wasser als Kühlmittel und Moderator benutzt.

26. Leichtwasser-moderierter Reaktor — Reaktor mit normalem Wasser als Moderator.

| | |
|---|---|
| 27. Meson | Instabiles Elementarteilchen, dessen Masse zwischen der des Elektrons und des Protons liegt. |
| 28. Moderator | Substanz, die die bei der Kernspaltung mit hoher Geschwindigkeit (~ 10000 km pro Sekunde) ausgestoßenen Neutronen auf niedrige Geschwindigkeiten (2000 m pro Sekunde) abbremst, aber nicht einfängt. Gute Moderatoren sind Graphit und Schweres Wasser. |
| 29. Neutron | Neutrales Elementarteilchen, das mit den Protonen den Atomkern bildet. Die Masse ist ungefähr gleich der Protonenmasse. Im freien Zustand ist es instabil. |
| 30. Neutronenflußdichte | Maß für die Zahl der pro Sekunde auf die Oberfläche einer Kugel von einem Quadratzentimeter Querschnitt auftreffenden frei beweglichen Neutronen. |
| 31. Notkühlungsanlage | Zusätzliches Kühlsystem zur Abführung der durch radioaktiven Zerfall im Reaktorkern entstehenden Nachwärme bei Ausfall des normalen Kühlsystems im Fall eines Unfalls. |
| 32. Nuklearrein | Befreit von Elementen, die Neutronen in hohem Maße einfangen. |
| 33. Nukleare Überhitzung | Zur Verbesserung des Wirkungsgrades wird der in einem Leichtwasserreaktor erzeugte Dampf mit Temperaturen von 250–300 °C durch einen gesonderten Nuklearkreislauf auf Temperaturen von 500–600 °C überhitzt. |
| 34. Proton | Positiv geladenes Elementarteilchen. Es bildet den Kern des Wasserstoff- |

atoms und zusammen mit den Neutronen den Atomkern anderer Elemente. Die Masse des Protons beträgt 1,67 · $10^{-24}$ Gramm.

| | |
|---|---|
| 35. Protonenbeschleuniger | Gerät, in dem mit Hilfe elektromagnetischer Felder Protonen auf hohe Energie und damit hohe Geschwindigkeit beschleunigt werden. |
| 36. Plutoniumrückführung | Plutonium entsteht in Brennelementen mit Uran als Brennstoff während des Reaktoreinsatzes durch Anlagerung von Neutronen an U 238. Es wird bei der Wiederaufarbeitung gewonnen und als Brennstoff anstelle von Uran-235 in den Reaktor zurückgeführt. |
| 37. Radioaktivität | Spontaner Zerfall bestimmter Atomkerne (Nuklide) unter Aussendung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlen. Man unterscheidet natürliche und künstliche Radioaktivität, je nachdem, ob das radioaktive Nuklid in der Natur vorkommt (Uran, Thorium) oder durch künstliche Kernumwandlung, z.B. im Reaktor, erzeugt wird. |
| 38. Reaktorsicherheitskommission | Beratungsgremium des Bundesministers des Innern. Es setzt sich aus Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen zusammen und ist ein entscheidendes Beratungsorgan im Genehmigungsverfahren für kerntechnische Anlagen. |
| 39. Rem | Maß für die Wirkung, also Schädlichkeit, einer ionisierenden Strahlung auf den Menschen. |
| 40. Schneller Brüter | Kernreaktor, in dem Neutronen, die |

| | |
|---|---|
| | eine große Energie und damit eine hohe Geschwindigkeit (~ 10000 km pro Sekunde) besitzen, sogenannte schnelle Neutronen, die Kettenreaktion aufrechterhalten und in dem mehr spaltbares Material erzeugt (gebrütet) als verbraucht wird. Der Reaktor arbeitet ohne Moderator. |
| 41. Schwerwassergekühlter Reaktor | Reaktor mit Schwerem Wasser ($D_2O$) als Moderator und Kühlmittel. |
| 42. Schwerwasser-moderierter Reaktor | Reaktor mit Schwerem Wasser ($D_2O$) als Moderator. |
| 43. Siedewasserreaktor | Reaktor mit leichtem Wasser als Kühlmittel und Moderator. Das Wasser umströmt die Brennelemente und siedet. Der entstehende Dampf wird direkt auf die Turbine geleitet (Einkreissystem). Brennstoff ist auf 3% angereichertes Uran. |
| 44. Transurane | Elemente, die im periodischen System der Elemente nach dem Uran stehen. Sie besitzen somit mehr Protonen im Atomkern als das Uran. Sie kommen in der Natur nicht vor, sondern können nur künstlich erzeugt werden. |
| 45. Trennarbeit | Die Trennarbeit ist ein Maß für die Energie, die aufgewandt werden muß, um die U-235-Konzentration in Uran zu erhöhen. Sie hängt ab von der Ausgangskonzentration, der Endkonzentration des Produkts und der Konzentration der Abfälle. Die Trennarbeit wird in kg UTA (= Urantrennarbeit) angegeben. |

| | |
|---|---|
| 46. Trennleistung | Trennarbeit pro Zeiteinheit, gewöhnlich pro Jahr = kg UTA/a. |
| 47. Tritium | Überschweres Wasserstoffatom, das neben einem Proton noch 2 Neutronen im Kern enthält. |
| 48. $UO_2$ | Oxid des Urans. Bräunliches Pulver. Am häufigsten benutzter Kernbrennstoff im Kraftwerksreaktor. |
| 49. U 233 | Kernbrennstoff, der aus Th 232 durch Neutroneneinfang und anschließenden Betazerfall entsteht. |
| 50. Urananreicherung | Durch bestimmte Verfahren wird die Konzentration des Uranisotops U-235, das im natürlichen Uran zu 0,7% vertreten ist, vergrößert. |
| 51. Wasserstoffbombe | Kernwaffe, bei der durch Verschmelzen von überschwerem Wasserstoff (Tritium) mit schwerem Wasserstoff (Deuterium) Energie explosionsartig freigesetzt wird. Es entsteht Helium. Das Verschmelzen (Fusion) setzt erst bei einer Temperatur von ca. 100 Millionen °C ein. Um diese Temperaturen zu erreichen, muß die Wasserstoffbombe durch eine Spaltungsatombombe gezündet werden. |

# Verzeichnis der Abbildungen

# Personenregister

# Sachregister

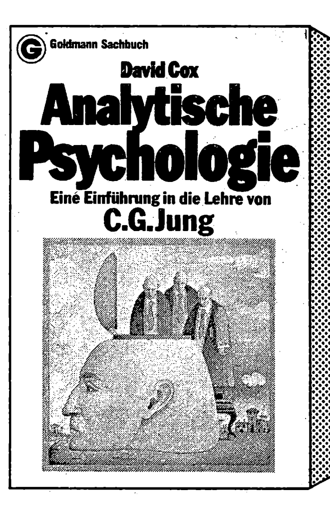



**David Cox**
**Analytische Psychologie**

Die Psychologie C. G. Jungs hat in den letzten Jahren eine Renaissance erfahren, das kollektive Unbewußte C. G. Jungs rückte in den Mittelpunkt des Interesses. Seine Lehre von den Archetypen gibt der psychologischen Forschung neue Impulse.

Was untersucht die Psychologie? In welcher Hinsicht erforscht sie den Menschen? Welche Methoden wendet sie an? Was unterscheidet die Lehre C. G. Jungs von anderen Richtungen, insbesondere von der Lehre Sigmund Freuds?

**Sachbuch.** (11119)




**Gerhard Hellwig**
**Daten der deutschen Geschichte**

Politik und Kultur im deutschen Sprachraum von der Vergangenheit bis zur Gegenwart!

Politischen Ereignissen aus allen Epochen der deutschen, österreichischen und schweizerischen Geschichte sind in dieser Datensammlung die philosophischen, technischen, wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Leistungen des gleichen Zeitraumes gegenübergestellt.

So bekommt der Leser ein Bild der ganzen Geschichte, ein Datengerüst, das ihm in alle Aspekte einer historischen Epoche Einblick gewährt.

**Sachbuch.** (11156)



# Sachbücher

# Theo Löbsack

**Wunder, Wahn und Wirklichkeit**

Naturwissenschaft und Glaube
Die heutigen Aussagen der Kirche über das Wesen Gottes und der Schöpfung werden mit den Erkenntnissen der Naturwissenschaften konfrontiert. Theo Löbsack schildert, welche Folgen religiöser Fanatismus haben kann, wie Wunderheilungen zustande kommen und wie inhaltslos die Versuche der Theologie sind, Gott zu definieren.

**Sachbuch** (11164)







**Maß aller Dinge**

Was die Wissenschaft vom Menschen weiß.
Der Wissenschaftspublizist Theo Löbsack zieht eine kritische Bilanz, er zeichnet nach was Biologie, Soziologie, Psychologie, Parapsychologie und Medizin heute vom Menschen wissen und entwirft ein düsteres Zukunftsbild. Denn der Mensch ist gefährdet - durch den Menschen.

**Sachbuch** (11213)



**Goldmann Verlag**

Professor Karl Winnacker, einer der Mitbegründer des Deutschen Atomforums, legt mit diesem Buch ein Werk vor, das in umfassender Weise über alle Fragen der Kernenergie und die damit zusammenhängenden Problembereiche informiert. Ausgehend vom Energiebedarf in unserer Welt zeichnet der Autor in profunder Sachkenntnis die Entwicklung der deutschen Atompolitik.

Er macht deutlich, daß der Weg in die Zukunft ohne Kernenergie nicht denkbar ist. Eine Erläuterung ausgewählter Begriffe aus der Kerntechnik rundet dieses Standardwerk ab.

Ein Buch für jeden mündigen Bürger, der in der Kernenergie-Debatte ernsthaft mitreden möchte und dem an der Zukunft unseres Landes gelegen ist.

**Ein Goldmann-Taschenbuch**
ISBN 3-442-11268-0 DM 7,80